Baidu 文库 测试版

特别说明

此资料来自百度文库（http://wenku.baidu.com/）

您目前所看到的文档是使用的**抱米花百度文库下载器**所生成

此文档原地址来自

http://wenku.baidu.com/view/c328a31b6bd97f192279e927.html

感谢您的支持

抱米花

http://blog.sina.com.cn/lotusbaob

VISIT…

LANZAROTE Caliente.COM

Fluent 重要说明摘记

第 01 章 fluent 简单算例 21

FLUENT 是用于模拟具有复杂外形的流体流动以及热传导的计算机程序。

对于大梯度区域，如自由剪切层和边界层，为了非常准确的预测流动，自适应网格是非常有用的。

FLUENT 解算器有如下模拟能力：

- 用非结构自适应网格模拟 2D 或者 3D 流场，它所使用的非结构网格主要有三角形/五边形、四边形/五边形，或者混合网格，其中混合网格有棱柱形和金字塔形。（一致网格和悬挂节点网格都可以）
- 不可压或可压流动
- 定常状态或者过渡分析
- 无粘，层流和湍流
- 牛顿流或者非牛顿流
- 对流热传导，包括自然对流和强迫对流
- 耦合热传导和对流
- 辐射热传导模型
- 惯性（静止）坐标系非惯性（旋转）坐标系模型
- 多重运动参考框架，包括滑动网格界面和 rotor/stator interaction modeling 的混合界面
- 化学组分混合和反应，包括燃烧子模型和表面沉积反应模型
- 热，质量，动量，湍流和化学组分的控制体源
- 粒子，液滴和气泡的离散相的拉格朗日轨迹的计算，包括了和连续相的耦合
- 多孔流动
- 一维风扇/热交换模型
- 两相流，包括气穴现象
- 复杂外形的自由表面流动

上述各功能使得 FLUENT 具有广泛的应用，主要有以下几个方面

- Process and process equipment applications
- 油/气能量的产生和环境应用
- 航天和涡轮机械的应用
- 汽车工业的应用
- 热交换应用
- 电子/HVAC/应用
- 材料处理应用
- 建筑设计和火灾研究

总而言之，对于模拟复杂流场结构的不可压缩/可压缩流动来说，FLUENT 是很理想的软件。

当你决定使 FLUENT 解决某一问题时，首先要考虑如下几点问题： 定义模型目标：从 CFD 模型中需要得到什么样的结果？从模型中需要得到什么样的精度；选择计算模型：你将如何隔绝所需要模拟的物理系统，计算区域的起点和终点是什么？在模型的边界处使用什么样的边界条件？二维问题还是三维问题？什么样的网格拓扑结构适合解决问题？物理模

型的选取：无粘，层流还湍流？定常还是非定常？可压流还是不可压流？是否需要应用其它的物理模型？确定解的程序：问题可否简化？是否使用缺省的解的格式与参数值？采用哪种解格式可以加速收敛？使用多重网格计算机的内存是否够用？得到收敛解需要多久的时间？在使用 CFD 分析之前详细考虑这些问题，对你的模拟来说是很有意义的。当你计划一个 CFD 工程时，请利用提供给 FLUENT 使用者的技术支持。.

解决问题的步骤

确定所解决问题的特征之后，你需要以下几个基本的步骤来解决问题：

1．创建网格.
2．运行合适的解算器：2D、3D、2DDP、3DDP。
3．输入网格
4．检查网格
5．选择解的格式
6．选择需要解的基本方程：层流还是湍流（无粘）、化学组分还是化学反应、热传导模型等
7．确定所需要的附加模型：风扇，热交换，多孔介质等。
8．.指定材料物理性质
8．指定边界条件
9．调节解的控制参数
10．初始化流场
11．计算解
12．检查结果
13．保存结果
14．必要的话，细化网格，改变数值和物理模型。

解算器中用户可以选择的输入

选择解的格式

FLUENT 提供三种不同的解格式：分离解；隐式耦合解；显式耦合解。三种解法都可以在很大流动范围内提供准确的结果，但是它们也各有优缺点。分离解和耦合解方法的区别在于，连续性方程、动量方程、能量方程以及组分方程的解的步骤不同，分离解是按顺序解，耦合解是同时解。两种解法都是最后解附加的标量方程（比如：湍流或辐射）。隐式解法和显式解法的区别在于线化耦合方程的方式不同。详情请参阅相关章节。

分离解以前用于 FLUENT 4 和 FLUENT/UNS，耦合显式解以前用于 RAMPANT。分离解以前是用于不可压流和一般可压流的。而耦合方法最初是用来解高速可压流的。现在，两种方法都适用于很大范围的流动(从不可压到高速可压)，但是计算高速可压流时耦合格式比分离格式更合适。

FLUENT 默认使用分离解算器，但是对于高速可压流（如上所述），强体积力导致的强烈耦合流动(比如浮力或者旋转力)，或者**在非常精细的网格上的流动，你需要考虑隐式解法。**这一解法耦合了流动和能量方程，常常很快便可以收敛。耦合隐式解所需要内存大约是分离解的 1.5 到 2 倍，选择时可以通过这一性能来权衡利弊。在需要隐式耦合解的时候，如果计算机的内存不够就可以采用分离解或者耦合显式解。耦合显式解虽然也耦合了流动和能量方程，但是它还是比耦合隐式解需要的内存少，但是它的收敛性相应的也就差一些。

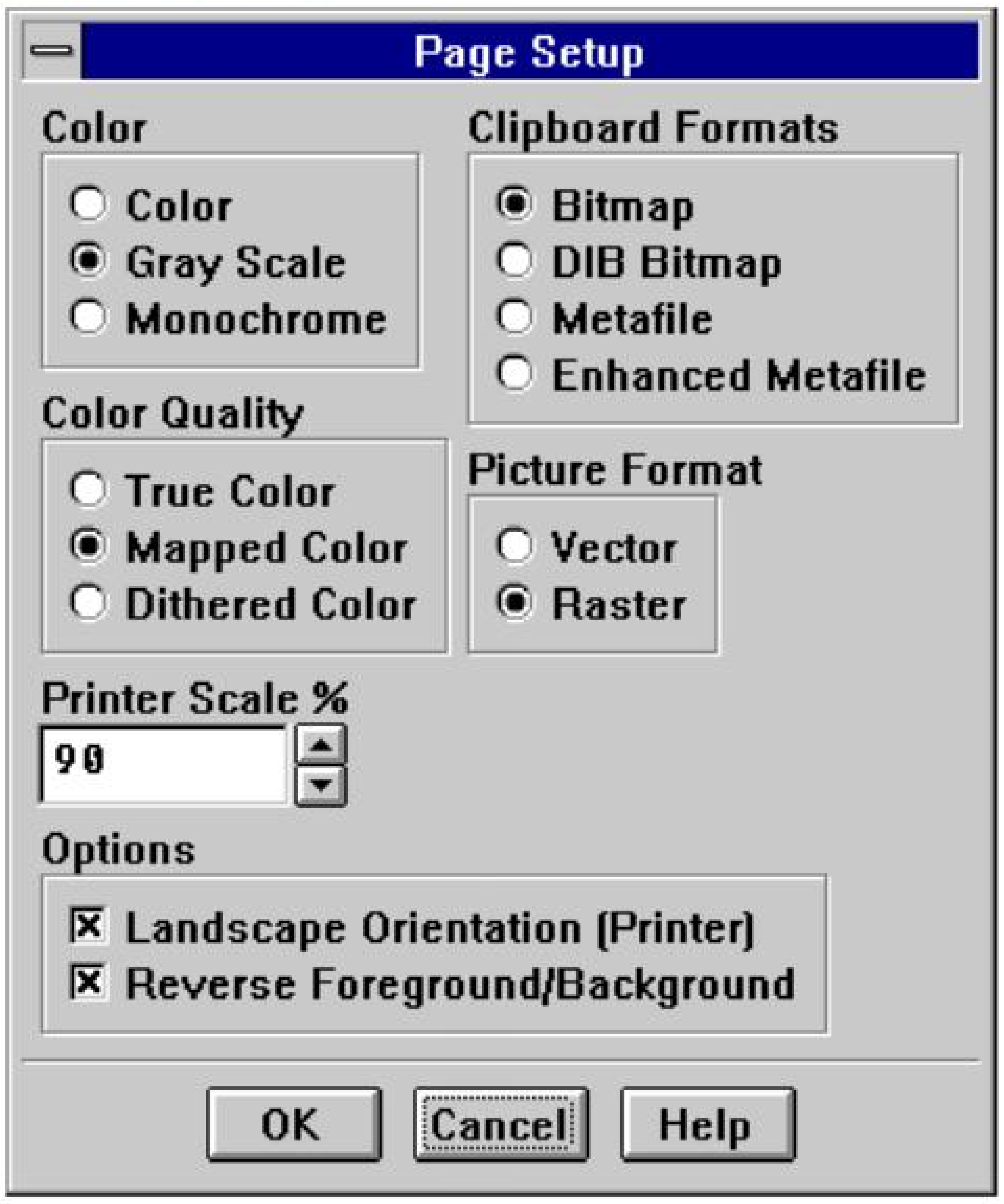
注意：分离解中提供的几个物理模型，在耦合解中是没有的：多项流模型；混合组分/PDF 燃烧模型/预混合燃烧模型/Pollutant formation models/相变模型/Rosseland 辐射模型/指定质量流周期流动模型/周期性热传导模型。

网格检查是最容易出的问题是网格体积为负数。如果最小体积是负数你就需要修复网格以减少解域的非物理离散。你可以在 Adapt 下拉菜单中选中 Iso-Value...来确定问题之所在，其它关于网格检查的信息请参阅“网格检查”一章。

分离解算器是 FLUENT 默认的解算器，FLUENT 中默认物理模型是层流流动，

第 02 章 fluent 用户界面 22

Windows NT 系统独有的页面设置面板功能：在图形显示窗口的 system 菜单中点击 Page Setup..菜单，弹出页面设置面板如下：



第一个 Color：允许你选择是否使用彩色图
第二个 Color：选择彩色图形
Gray Scale：选择灰度比例图
Monochrome：选择黑白图
Color Quality：允许你指定图形的色彩模式
True Color：　创建一个由 RGB 值定义的图，这假定了你的打印机或者显示器有至少 65536 个色彩或无限色彩。
Mapped Color：用色彩图创建图形，这对于只有 256 色的设备是一个不错的选择
Dithered Color：用 20 个或更少的色彩创建一个颤动图
Clipboard Formats：　允许你选择所需格式复制到剪贴板。图形窗口的大小会影响剪贴板图形的尺寸。要得到最好的结果最好是调节图形窗口的尺寸并用 Windows 剪贴板查看器检查剪贴板图形。
Bitmap：图形窗口以位图形式复制
DIB Bitmap：是一个与设备有关的图形窗口位图复制

Metafile：是一个 Windows 图元文件
Enhanced Metafile：是一个 Windows 增强图元文件
Picture Format：允许你指定光栅和矢量图
Vector：创建矢量图，这一格式在打印时有很高的清晰度，但是一些大的 3D 图可能会花很长时间来打印
Raster：创建光栅图，这一格式在打印时有相对较低的清晰度，但是一些大的 3D 图可能会花较少时间来打印
Printer Scale %：控制打印图形覆盖页面的范围，减少尺度会有效的增加图形页面的空白。
Options：包括控制图形其它属性的选项
Landscape Orientation (Printer)：指定图形的方向。如果选上改选项，图形将会在前景（landscape）模式中形成，否则是在肖像（portrait）模式下形成。改选项只在输出时应用。
Reverse Foreground/Background：如果选定就会使图形的前景和背景颜色互换。这一功能可以使你复制白前景黑背景的图为黑前景白背景。

第 03 章 fluent 文件的读写

读入新的网格文件

用特定网格设定完 case 文件之后，你可以将新网格与已知边界条件，材料属性，解参数等结合。这一功能一般用于产生比正在使用更好的网格，此时你不用重新输入所有的边界条件，材料属性和参数。只要新网格和原来的网格有相同的区域结构即可

新旧网格应该具有同一区域，并具有相同的顺序，否则会有警告出现，因为相容性可能会造成边界条件的问题。在文本界面使用 file/reread-grid 命令读入新网格

在进行网格适应的时候必须保存新的 case 文件和 data 文件，否则新的 data 据文件将和 case 文件不符。如果你不保存一个更新的 case 或 data 文件，FLUENT 会给出警告。

自动保存 Case 文件和 Data 文件

在计算过程中一般是需要自动保存文件的，否则因为断电等故障可能造成计算前功尽弃。FLUENT 允许我们在计算时设定间隔保存文件。这一功能在时间相关计算时是非常有用的，因为它使得我们不必中断计算来保存结果。对于定常问题也可以使用自动保存功能，从而可以检验迭代过程中不同状态的解

点击菜单 File/wite/utosave...，弹出下图：

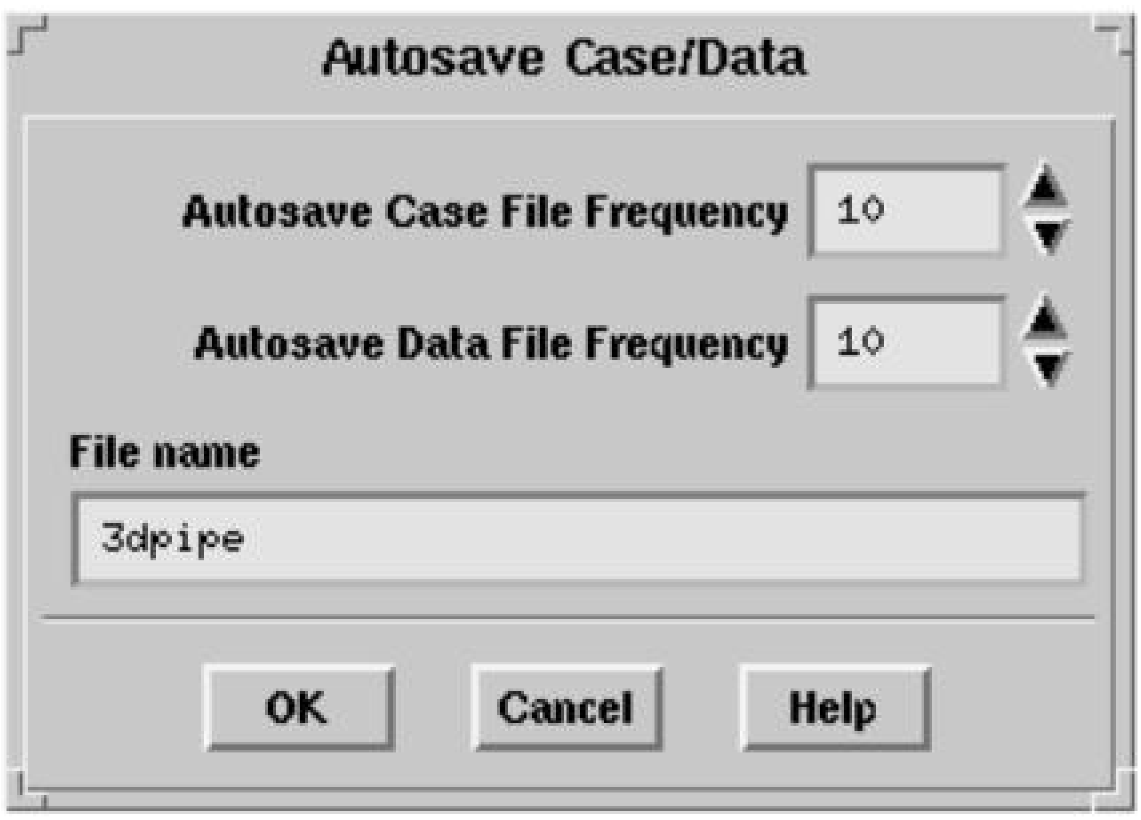


Figure 1:自动保存 Case/Data 面板

在这个面板中必须设定保存频率和文件名，保存频率的默认值是零，也就是说默认没有自动

保存。

定常流是在迭代中指定保存频率，非定常流是在时间步中指定保存频率（若使用显式时间步进法也是在迭代中设定保存频率）。如果保存频率是 10，那么在定常计算中每迭代 10 步保存一次。FLUENT 自动保存不同的文件类型，用后缀来区分.cas、dat、gz 或者.Z。所有自动保存的设置都存在 case 文件中。

读入 FLUENT/UNS 和 RAMPANT 的 Case 文件和 Data 文件

FLUENT/UNS 3 或 4 以及 RAMPANT 2, 3,或 4 中创建的 case 文件可以和目前的 case 文件按相同的方式读入。如果读入的是 FLUENT/UNS 创建的 case 文件，FLUENT 将会在解控制面板种选择分离解。如果读入的是 RAMPANT 创建的 case 文件，FLUENT 将会在解控制面板种选择耦合显式解。

FLUENT/UNS 4 以及 RAMPANT4 中创建的 Data 文件可以按相同的方式读入到 FLUENT 中。

导入 FLUENT 4 的 Case 文件，点击菜单 File/Import/FLUENT 4 Case...出现对话框，选择所需文件。FLUENT 将只读入 FLUENT 4 case 文件的网格信息和区域类型，读入文件之后你必须指定边界条件，模型参数，材料属性等信息。

导入 FIDAP 7 Neutral 文件，点击菜单 File/Import/FIDAP7...，弹出对话框，选择所需文件。FLUENT 将只读入 FIDAP7...文件的网格信息和区域类型，读入文件之后你必须指定边界条件，模型参数，材料属性等信息。

用户输入

要开始日志文件进程，请选择菜单：File/Write/Start Journal...
在文件选择对话框中输入文件名之后，日志记录就开始了，Start Journal...选项也变成了 Stop Journalmenu 选项。退出程序或者选择 Stop Journal 都可以结束日志文件的记录。（File/Write/Stop Journal）

你可以在点击菜单 File/Read/Journal..之后在选择文件对话框中读入日志文件。日志文件通常是在主文本菜单（最上层菜单）中加载，而不管你在哪一个文本菜单层。
创建 Transcript 文件

Transcript 文件包含了 FLUENT 标准输入输出的完全记录（通常是键盘和图形用户界面的输入和屏幕的输出）。在 transcript 文件中，GUI 命令是作为 Scheme 代码行来记录的。FLUENT 将所有的键入和图形用户界面的输入以及文本窗口的输出记录下来作为 transcript 文件。

Transcript 文件对程序的进程作了记录以便于将来的参考。因为它们包括消息以及其它输入，所以它并不像日志文件，它不可以重新读入到程序中。

注意：在记录时，只有一个 transcript 文件可以打开，但是你可以同时写日志文件和 transcript 文件。当 transcript 记录正在运行时，你也可以读入日志文件。

用户输入

要启动 transcripting 进程，请选择 File/Write/Start Transcript...菜单。在选择文件对话框中输入文件名之后，transcript 记录过程就开始了，而且 Start Transcript...按钮就会变成 Stop Transcriptmenu 按钮。点击 Stop Transcript 按钮或者退出程序就会结束 transcript 进程。

轮廓文件的读写

边界轮廓用于指定解域的边界区域的流动条件。例如，它们可以用于指定入口平面的速度场。

读入轮廓文件

点击菜单 File/Read/Profile...弹出选择文件对话框，你就可以读入边界轮廓文件了。

写入轮廓文件

你也可以在指定边界或者表面的条件上创建轮廓文件。例如：你可以在一个算例的出口条件中创建一个轮廓文件，然后在其它算例中读入该轮廓文件，并使用出口轮廓作为新算例的入口轮廓。

要写一个轮廓文件，你需要使用 Write Profile 面板(Figure 1)，菜单：File/Write/Profile...

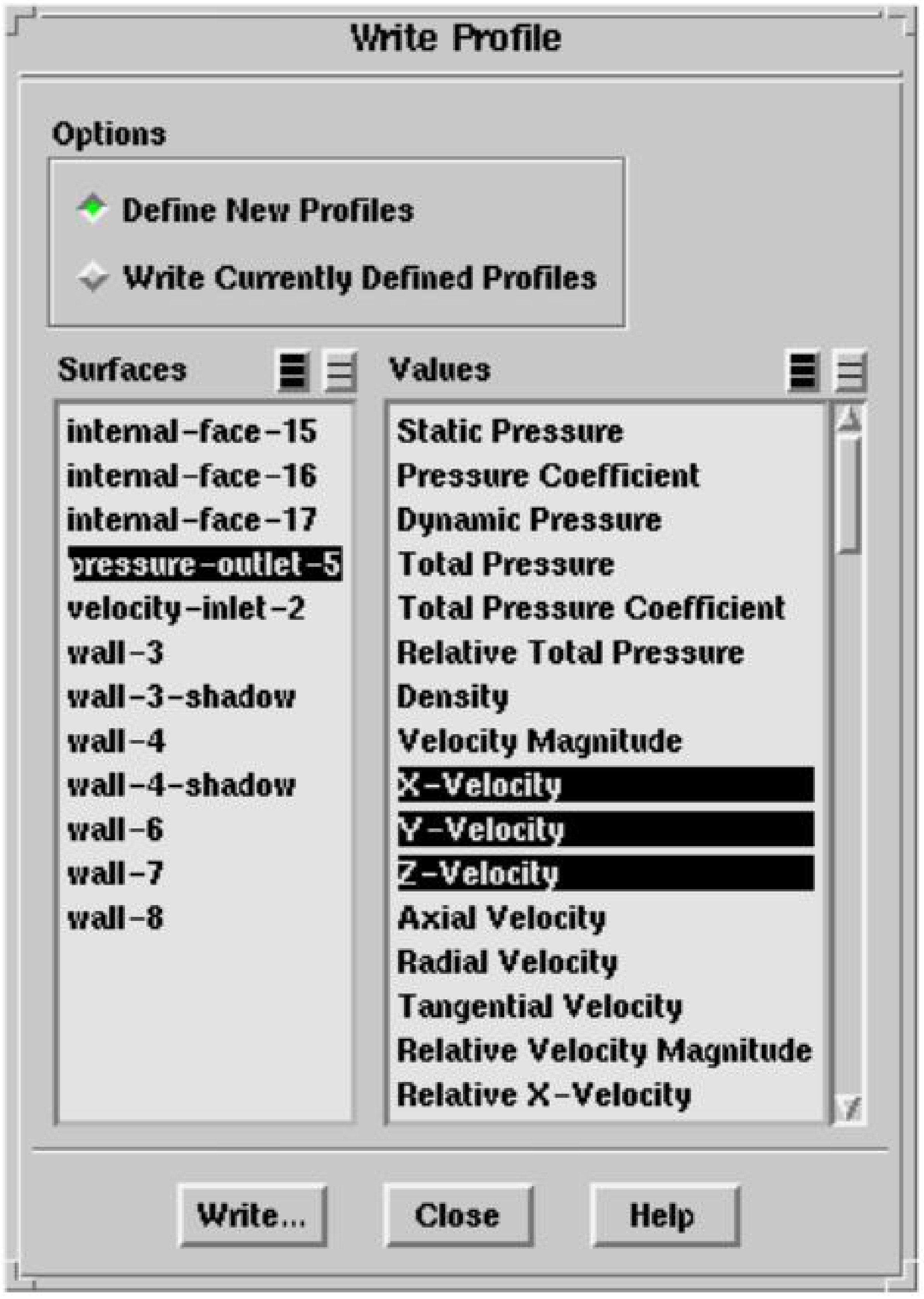


Figure 1:Write Profile 面板

1. 保留 Define New Profiles 的默认选项。
2. 选择表面，你想要在该表面上获取表面列表中的轮廓的数据
3. 选择变量，你想要在该值列表中创建轮廓
4. 点击 Write...按钮，并在选择文件对话框中输入轮廓文件的名字。

FLUENT 会保存表面上数据点的网格坐标，以及这些位置上所选定变量的值。当你将轮廓文件读入到解算器中时，表面名将会是轮廓名，值的名字将是在边界条件控制面板的下拉菜单中出现的流场（field）名。

如果你在将轮廓读入时对边界轮廓进行了修改（比如：你将原轮廓再定位产生一个新的轮廓），或者你想将不同的轮廓文件用于一个 case 文件，你可以选择 Write Currently Defined Profiles 选项然后点击 Write...按钮。所有目前定义的轮廓都会保存在选择文件对话框中你所指定的文件中。不管你什么时候需要将该文件读入到解算器中，这个文件都可以读入

写边界条件网格

你可以将边界区域（表面网格）写进一个文件中。该文件可用 TGrid 读入来产生体网格。如果你对其它网格生成程序产生的网格不满意，你就会发现这项功能很有用。点击菜单 File/Write/Boundary Grid...打开选择文件对话框，你就可以将边界网格写入。

第 04 章 fluent 单位系统

需要强调的是 FLUENT 内部使用的是国际单位，所以单位的转换仅仅是将内部的数值转换到你所需的界面。

需要注意 FLUENT 输入的单位和剩下问题单位的设定是不同的。必须在如下的定义中使用国际单位而不管你所使用的单位系统

- 边界特征
- 源项(参阅质量、动量、能量和其他源项的定义)
- 自定义流场函数
- 外部创建 XY 图形文件的数据
- 自定义函数

在定义材料属性时，所采用的是指定温度相关多项式或者分段多项式函数，请记住函数中的温度总是 Kelvin 或者 Rankine 单位。如果你使用的是 Celsius 或 Kelvin 作为你的温度单位，那么多项式的系数必须是 Kelvin；如果你使用 Fahrenheit 或者 Rankine 作为你的温度单位，你必须使用 Rankine 作为输入单位。关于温度相关的材料属性请参阅“用温度相关函数定义属性”一节。

网格文件的单位

一些网格文件允许我们对网格尺度定义一组单位。然而，当你将网格读入 FLUENT 的时候，它总是将长度单位假定为米，如果不是这样你就需要标度网格，具体内容请参阅“标度网格一节”

确定 FLUENT 中的单位系统

FLUENT 提供 British, SI, CGS, "default."单位系统。这些单位系统之间可以相互转换，

转换方法是在设定单位面板中的 Set All To 选项中确定所要单位。菜单 Define/Units...

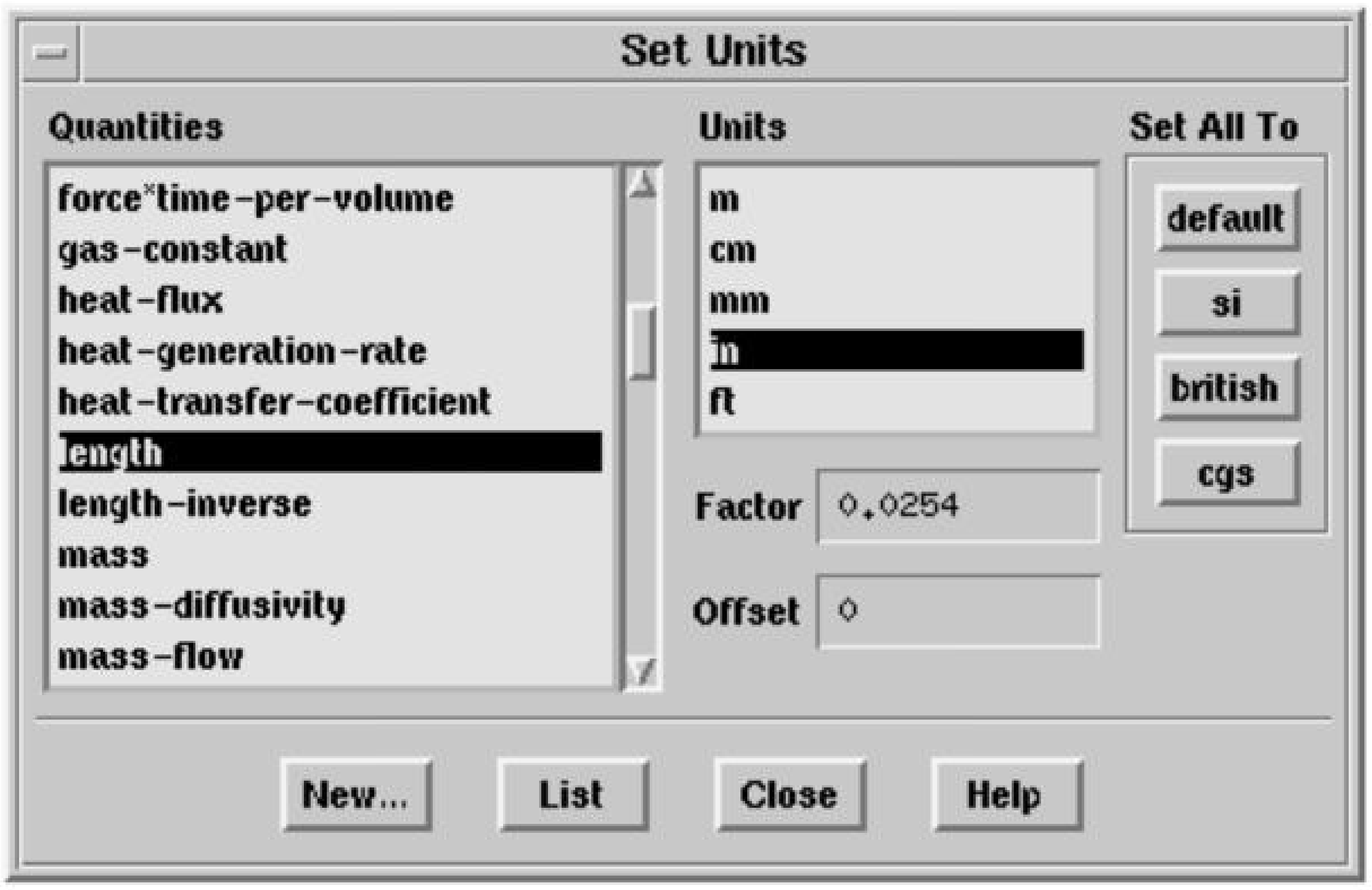


Figure 1:单位设定面板

英制单位点击 british 按钮；国际单位点击 si 按钮；CGS (centimeter-gram-second)单位点击 cgs 按钮；回到默认单位，点击 default 按钮。默认单位和国际单位相似，但角度单位是度而不是弧度。点击某一按钮之后单位系统马上就转换了，如果不想定义任何单位关闭面板就可以了。改变单位后，所有后来输入的单位都参照新的单位系统。

自定义单位系统

如果你想自己定义一个与上面所述四钟单位都不同的单位，你可以用单位设定面板选择可选单位或者指定自己的单位名称及相关转换因子。

列出当前单位

在定义一个或多个数量的单位之前，你可能想要列出当前单位，那么你只需要点击单位设定面板上的 List 按钮，FLUENT 就会在文本窗口中列出当前的所有量以及它们的单位、转换因子和偏移量。

改变某一量的单位

FLUENT 允许改变个别变量的单位。当你使用某一设定单位，但是想改变某一量或者少数几个量的单位时这一功能是很有用的。比方说你想要使用国际标准单位，但是图形的尺寸是英寸。你就可以选择国际标准单位然后将长度单位从米转换到英寸。具体转换步骤如下：

1.在数量列表中选定某一数量（它们是按照字母排序的）

2.选择新的单位

像上面的例子，你在数量列表中选择长度，然后选择所需单位。转换因子马上更新为 0.0254 meters/inch。如果新的单位有非零偏移量，偏移量也会随之更新。例如你使用国际单位作为温度的单位，但是现在用华氏温度取代开尔文温度，转换因子将会变成 1，偏移量将会变成 273.15。选定数量和新单位后，单位的改变就已经完成了，不需要再做其它的工作。

定义新的单位

对某一数量定义新的单位步骤如下：

1.在单位设定面板选定需要修改单位的量

2.点击 New...按钮，出现下图

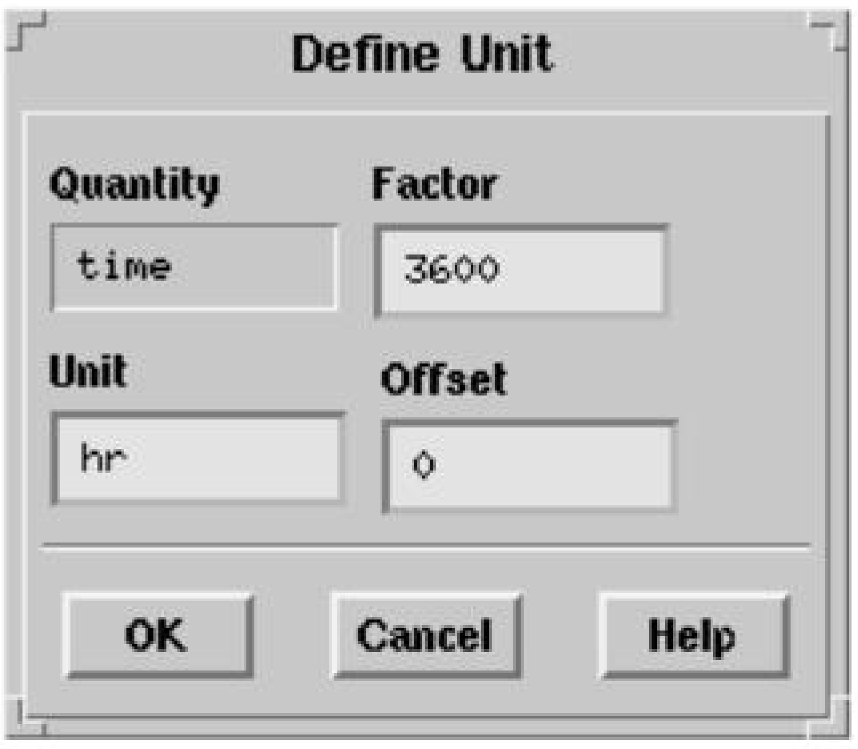


Figure 1:单位定义按钮

3.输入新单位的名字，转换因子以及偏移量

4.点击 OK 之后，新单位就出现在单位设定面板了

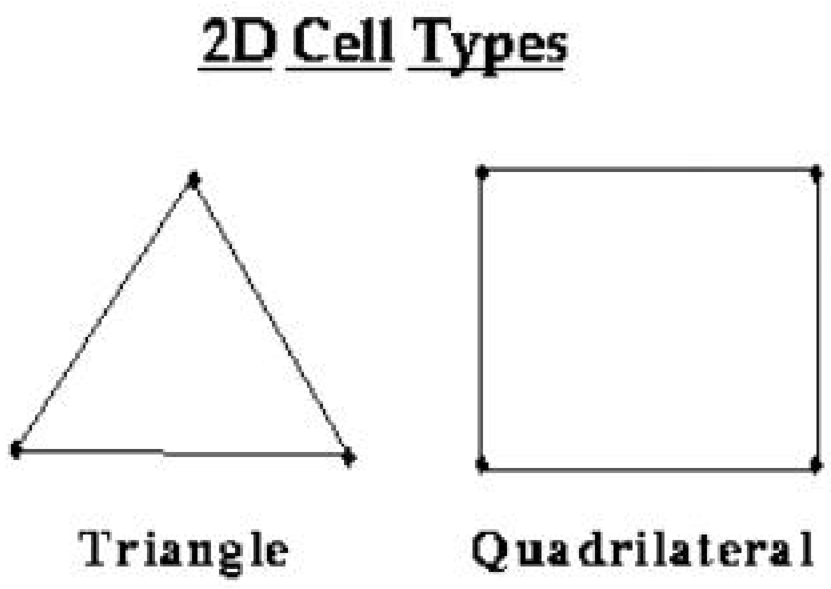
比如：你想要使用小时作为时间单位，你只需在数量列表中选择时间然后点击按钮，出现单位定义面板，输入转换因子 3600，点击 OK 即可。

在定义新单位时，转换因子都是相对国际单位的如果你想定义速度单位为 feet/min 你就可以按照下式计算转换因子：$x\frac{ft}{\min}\times\frac{0.3048m}{ft}\times\frac{\min}{60s}=y\frac{m}{s}$，至此你也就知道转换因子的含义了。

第 05 章 fluent 网格

网格拓扑结构

FLUENT 是非结构解法器，它使用内部数据结构来为单元和表面网格点分配顺序，以保持临近网格的接触。因此它不需要 i，j，k 指数来确定临近单元的位置。解算器不会要求所有的网格结构和拓扑类型，这使我们能够灵活使用网格拓扑结构来适应特定的问题。二维问题，可以使用四边形网格和三角形网格，三维问题，可以使用六面体、四面体，金字塔形以及楔形单元，具体形状请看下面的图形。FLUENT 可以接受单块和多块网格，以及二维混合网格和三维混合网格。另外还接受 FLUENT 有悬挂节点的网格（即并不是所有单元都共有边和面的顶点），有关悬挂节点的详细信息请参阅“节点适应”一节。非一致边界的网格也可接受（即具有多重子区域的网格，在这个多重子区域内，内部子区域边界的网格节点并不是同一的）。详情请参阅非一致网格



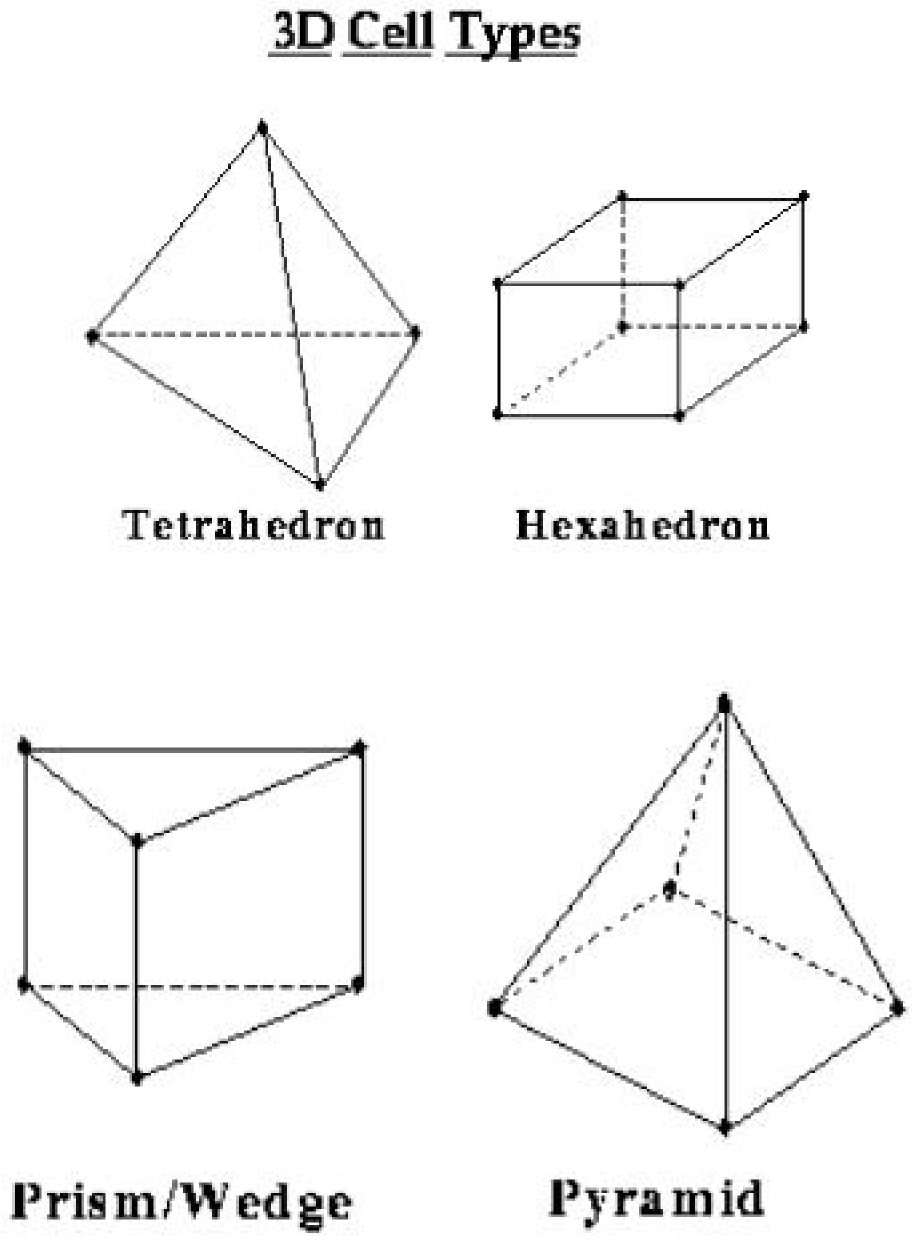


Figure 1: 单元类型

选择适当的网格类型

FLUENT 在二维问题中可以使用由三角形、四边形或混合单元组成的网格，在三维问题中可以使用四面体，六面体，金字塔形以及楔形单元，或者两种单元的混合。网格的选择依赖于具体的问题，在选择网格的时候，你应该考虑下列问题：

- 初始化的时间
- 计算花费
- 数值耗散

初始化的时间

很多实际问题是具有复杂几何外形的，对于这些问题采用结构网格或块结构网格可能要花费大量的时间，甚至根本无法得到结构网格。复杂几何外形初始化时间的限制刺激了人们在非结构网格中使用三角形网格和四面体网格。然而，如果你的几何外形并不复杂的话，两种方法所耗费的时间没有明显差别

如果你已经有了结构网格代码如 FLUENT 4 生成的网格，那么在 FLUENT 中使用该网格会比重新生成网格节约大量的时间。这一特点也刺激了人们在 FLUENT 仿真中使用四边形网格和六面体网格。注意：FLUENT 有一个格式转换器允许你从其它程序中读入结构网格。

计算花费

当几何外形太复杂或者流动的长度尺度太大时，三角形网格和四面体网格所生成的单元会比等量的包含四边形网格和六面体网格的单元少得多。这是因为三角形网格和四面体网格允许单元聚集在流域的所选区域，而四边形网格和六面体网格会在不需要加密的地方产生单元。非结构的四边形网格和六面体网格为对于一般复杂外形提供了许多三角形和四面体网格的优点。

四边形和六边形单元的一个特点就是它们在某些情况下可以允许比三角形/四面体单元更大的比率。三角形/四面体单元的大比率总会影响单元的歪斜。因此，如果你有相对简单

的几何外形，而且流动和几何外形很符合，比如长管，你就可以使用大比率的四边形和六边形单元。这种网格可能会比三角形/四面体网格少很多单元。

数值耗散

多维条件下主要的误差来源就是数值耗散又被称为虚假耗散（之所以被称为虚假的，是因为耗散并不是真实现象，而是它和真实耗散系数影响流动的方式很类似）。

关于数值耗散有如下几点：

- 当真实耗散很小时，即对流占主导地位时，数值耗散是显而易见的。
- 所有的解决流体问题的数值格式都会有数值耗散，这是因为数值耗散来源于截断误差，截断误差是描述流体流动的离散方程导致的。
- FLUENT 中所用的二阶离散格式可以帮助减少解的数值耗散的影响。
- 数值耗散量的大小与网格的分辨率成反比。因此解决数值耗散问题的一个方法就是精化网格。
- 当流动和网格成一条直线时数值耗散最小（所以我们才要使用结构网格来计算啊）

最后一点和网格选择最有关系。很明显，使用三角形/四面体网格流动永远不会和网格成一条直线，而如果几何外形不是很复杂时，四边形网格和六面体网格可能就会实现流动和网格成一条线。只有在简单的流动，如长管流动中，你才可以使用四边形和六面体网格来减少数值耗散，而且在这种情况下使用四边形和流面体网格有很多优点，因为与三角形/四面体网格相比你可以用更少的单元得到更好的解。

在计划解决你的问题的开始，应该注意下面的几何图形设定以及网格结构的必要条件。

- 对于轴对称图形来说，必须定义笛卡尔坐标系的 x 轴为旋转轴 (Figure 1).

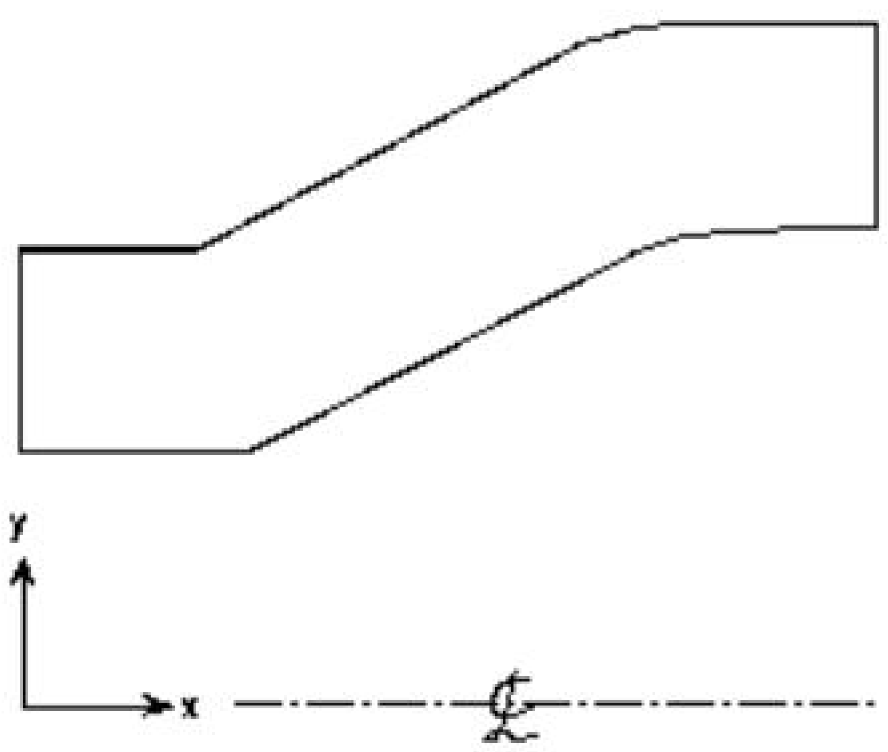


Figure 1:轴对称图形必须以 x 轴为中线

- 周期性边界条件要具有周期性网格，虽然 GAMBIT 和 TGrid 能够产生真正的周期性边界，但是 GeoMesh 和大多数 CAD 软件包是无法产生周期性边界条件的。如果下面的条件需要满足的话，TGrid 提供了 GeoMesh 和大多数 CAD 软件产生的三角形表面网格生成周期性边界的功能。

  1. 周期及其内部在它们的边界曲线上有相同的节点分布。
  2. 周期及其内部的节点与常数平动因子和转动因子有关。

  详情请见 GAMBIT 和 TGrid 的帮助文件。

如果你用 GeoMesh 和大多数 CAD 软件产生四边形网格和六面体网格，你必须保证在周期性区域内的网格是相同的。然后便可以在 FLUENT 中使用 make-periodic 命令建立周期性边界。详细内容请参阅“创建周期性区域”一节。(你能够在解算器中对三角形或四面体网格创建周期性边界条件而不用上面所述的 TGrid 来创建)

网格质量

网格质量对计算精度和稳定性有很大的影响。网格质量包括：节点分布，光滑性，以及歪斜的角度（skewness）。

节点密度和聚集度

连续性区域被离散化使得流动的特征解（剪切层，分离区域，激波，边界层和混合区域）与网格上节点的密度和分布直接相关。在很多情况下，关键区域的弱解反倒戏剧化的成了流动的主要特征。比如：由逆压梯度造成的分离流强烈的依靠边界层上游分离点的解。
边界层解（即网格近壁面间距）在计算壁面剪切应力和热传导系数的精度时有重要意义。这一结论在层流流动中尤其准确，网格接近壁面需要满足：

$$y_p\sqrt{\frac{u_\infty}{v_x}}\le 1$$

其中

y_p=从临近单元中心到壁面的距离；u_∞=自由流速度 ；v=流体的动力学粘性系数 ；x=

从边界层起始点开始沿壁面的距离。上面的方程基于零攻角层流流动的 Blasius 解[139]。

网格的分辨率对于湍流也十分重要。由于平均流动和湍流的强烈作用，湍流的数值计算结果往往比层流更容易受到网格的影响。在近壁面区域，不同的近壁面模型需要不同的网格分辨率。

一般说来，无流动通道应该用少于 5 个单元来描述。大多数情况需要更多的单元来完全解决。大梯度区域如剪切层或者混合区域，网格必须被精细化以保证相邻单元的变量变化足够小。不幸的是要提前确定流动特征的位置是很困难的。而且在复杂三维流动中，网格是要受到 CPU 时间和计算机资源的限制的。在解运行时和后处理时，网格精度提高，CPU 和内存的需求量也会随之增加。自适应网格技术可用于在流场的发展基础上提高和/或减少网格密度，并因此而提供了网格使用更为经济的方法。

光滑性

临近单元体积的快速变化会导致大的截断误差。截断误差是指控制方程偏导数和离散估计之间的差值。FLUENT 可以改变单元体积或者网格体积梯度来精化网格从而提高网格的光滑性

单元的形状

单元的形状（包括单元的歪斜和比率）明显的影响了数值解的精度。单元的歪斜可以定义为该单元和具有同等体积的等边单元外形之间的差别。单元的歪斜太大会降低解的精度和稳定性。比方说：四边形网格最好的单元就是顶角为 90 度，三角形网格最好的单元就是顶角为 60 度。比率是表征单元拉伸的度量。正如在计算花费一节所讨论的，对于各向异性流动，过渡的比率可以用较少的单元产生较为精确的结果。但是一般说来应该尽量避免比率大于 5:1。

流动流场相关性

分辨率、光滑性、单元外形对于解的精度和稳定性的影响强烈的依赖于所模拟的流场。例如：在流动开始的区域可以忍受过渡歪斜的网格，但是在具有大流动梯度的区域这一特点可能会使得整个计算无功而返。因为大梯度区域是无法预先知道的，所以我们只能尽量的使整个流域具有高质量的网格。

GAMBIT 网格文件

你可以使用 GAMBIT 创建二维和三维结构/非结构/混合网格。详细内容请参阅 GAMBIT 建模向导，并将你的网格输出为 FLUENT 5 格式。所有的这样的网格都可以直接读入到 FLUENT，菜单：File/Read/Case...

使用 fe2ram 转换器转换文件

如果你打算手动转换 CAD 文件然后再读入到 FLUENT，你可以输入下面的命令：
tfilter fe2ram [dimension] format [zoning] input-file output-file

其中方括号括起来的是可选内容（输入时不要加方括号）。维数表示数据表的维数。-d2 表示网格是二维的。如果不输入维数则默认为三维网格。格式表示你要转换文件的格式 -tANSYS 表示 ANSYS 文件，-tIDEAS 表示 I-DEAS 文件，-tNASTRAN 表示 NASTRAN 文件，-tPATRAN 表示 PATRAN 文件。要检查文件是否是从任何其它的 CAD 软件包转换来的请输入：tfilter fe2ram -cl –help。Zoning 表示 CAD 软件包有多少个区域被标识。-zID 表示区域被正确标识，-zNONE 表示忽略所有的区域组。对于被分组的网格区域，zoning 向不需要输入任何东西，因为这种情况是默认的。input-file 和 output-file 分别为需要转换的文件和转换后的文件名。

例如，你要将二维 I-DEAS 体网格文件 sample.unv 转换为 sample.grd 你就需要键入下面的命令：tfilter fe2ram -d2 -tIDEAS sample.unv sample.grd。

非一致网格

在 FLUENT 中可能会遇到具有非一致边界的区域组成的网格。也就是说，两个字区域的交界处网格节点位置并不相同。FLUENT 处理这类网格的技巧和滑移网格模型的技巧相同，虽然这类网格并不滑移。

非一致网格计算

要计算非一致边界的流动，FLUENT 必须首先计算组成边界的界面区域的交叉点。交叉点产生了一个内部区域，在这个内部区域内，两个界面区域重叠(见 Figure 1)。如果一个界面区域超出了另一个界面区域(见 Figure 2)。FLUENT 将会在两个区域不重叠的地方创建一个或两个附加的壁面区域。

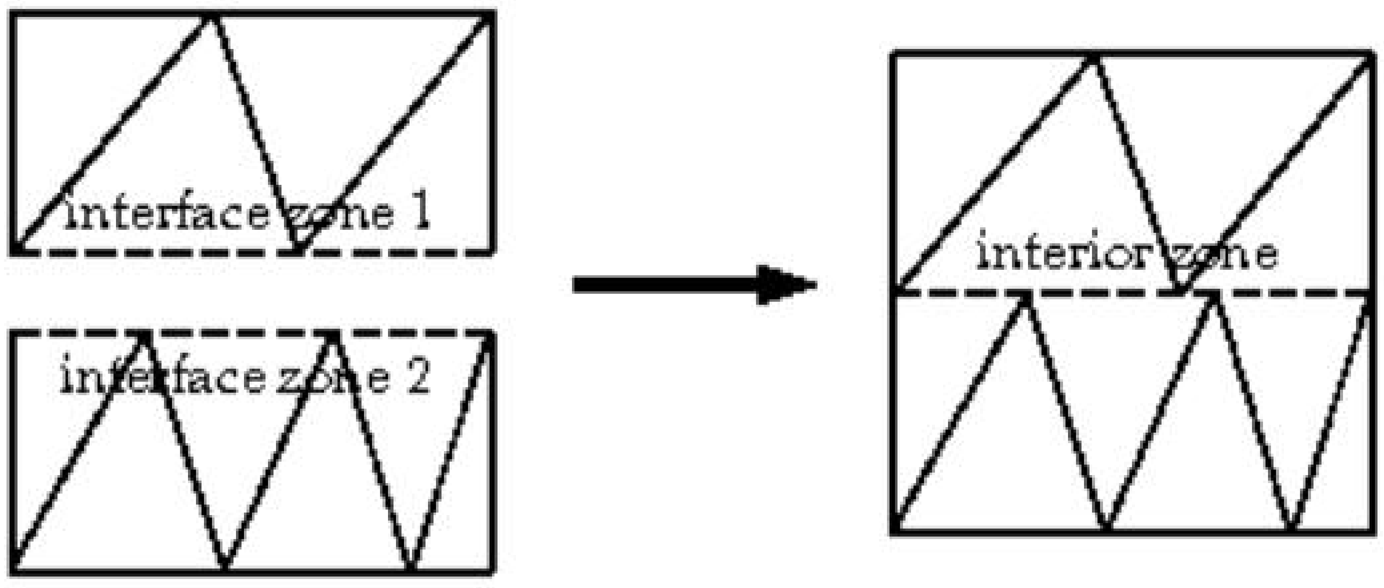


Figure 1:完全重合网格界面交叉点

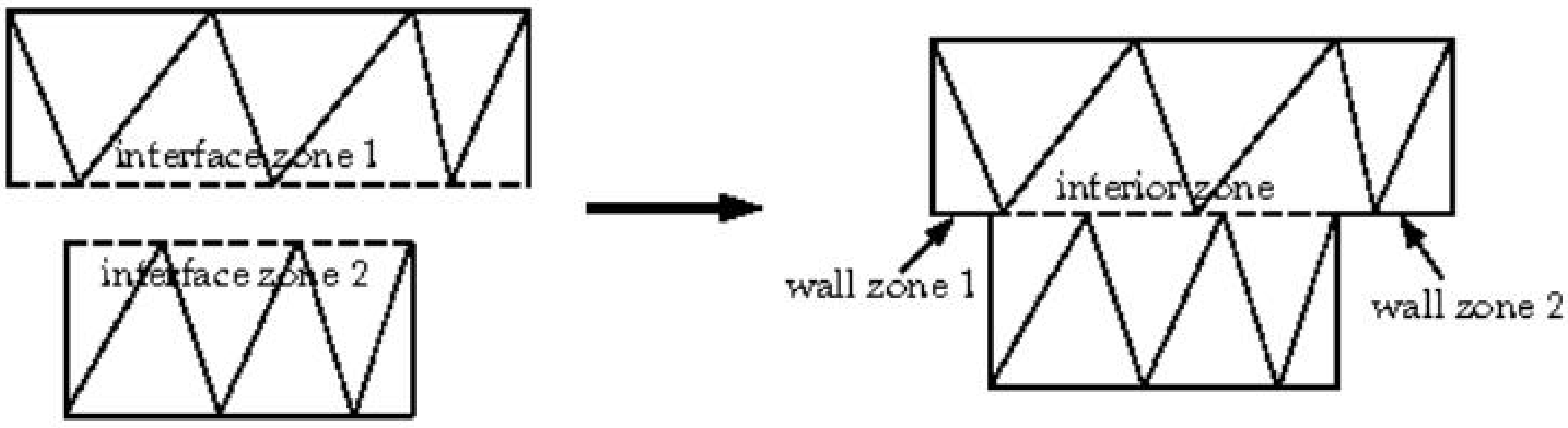


Figure 2: 部分重合网格界面交叉点

主要解决的方法在于，流过网格交接面的计算是使用两个界面区域交叉点的表面结果，而不是交界面区域表面。在 Figure 3 的例子中，界面区域由面 A-B、B-C、D-E 以 E-F 组成。这些区域的的交界面产生了面 a-d、d-b、b-e 以及 e-c。产生在两个单元区域的重叠处的面(d-b, b-e, 以及 e-c)被分组形成一个内部区域，剩下的面(a-d)形成壁面区域。要计算通过界面流入到单元 IV 的话，面 D-E 就被忽略了，而面 d-b 和 b-e 被使用，它们分别将信息从单元 I 和 III 带入到单元 IV 中。

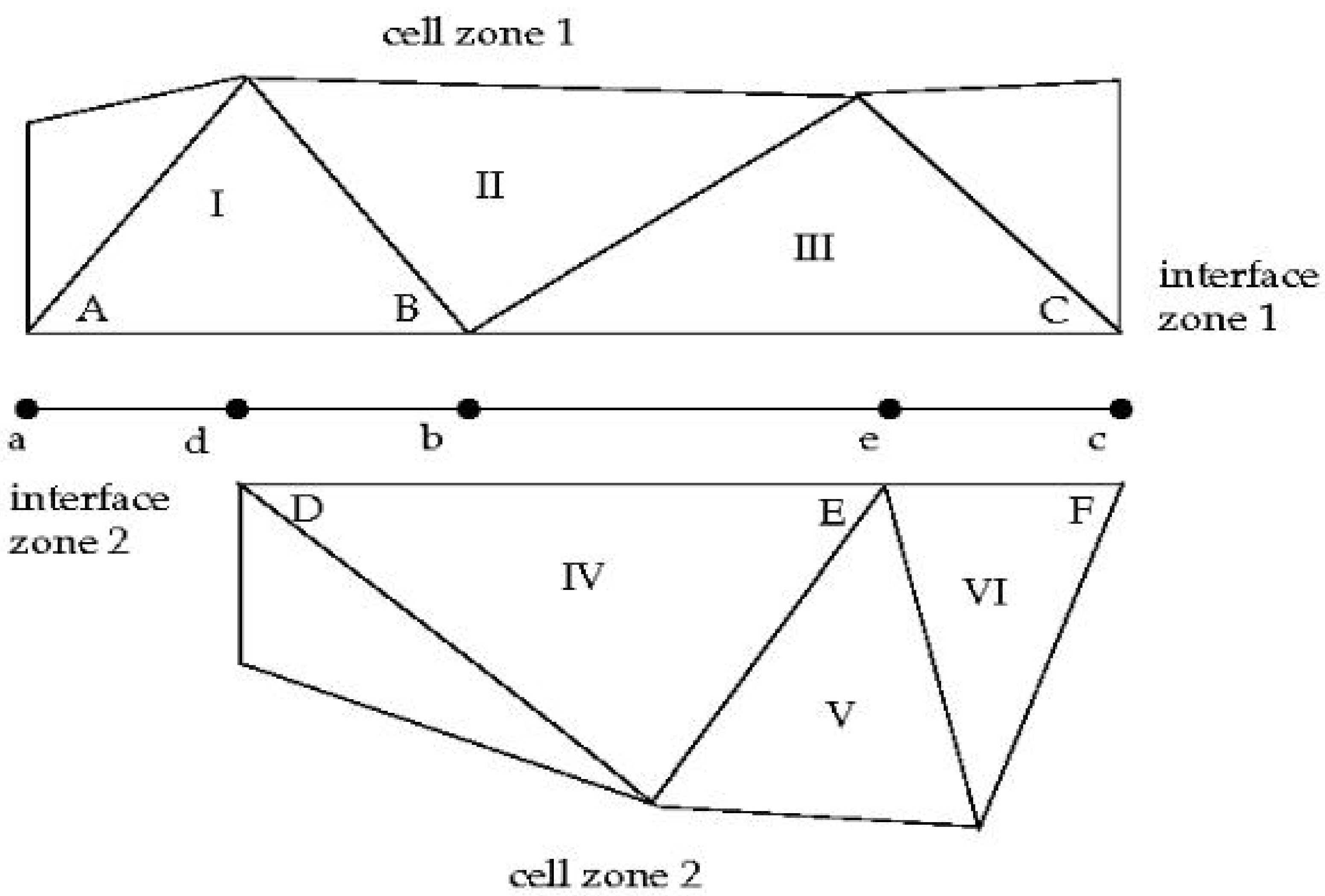


Figure 3:二维非一致网格界面

非一致网格的所需条件与限制：

- 如果两个交界面的边界具有相同的几何形状，网格界面可以是任何外形（包括三维中的非平面表面）。如果网格中有尖锐的特征（比如 90 度的角），交界面的两边都应该遵从这一特征。
- 如果创建的是非一致边界分隔的区域组成的多重单元区域构成的网格，你必须保证每一

单元区域在非一致边界有清楚的界面。相邻单元区域的表面区域将会具有相同的位置和外形，但是其中一个会符合一个单元区域，另一个会符合另一个单元区域。(注意：此时也可能为每一个单元区域创建一个独立的网格文件，然后将它们合并。)

- 必须定位网格文件以便它在两边都有流体单元。在流体和固体区域的交界处不能够有非一致边界。
- 在创建非一致界面之前，所有的周期性区域必须正确定向（平移或旋转）。
- 对于三维问题，如果界面是周期性的，在相邻界面只能有一对周期性边界

使用非一致 FLUENT/UNS 和 RAMPANT 算例请参阅 FLUENT/UNS 或 RAMPANT 启动的相关内容。

在 FLUENT 中使用非一致网格

如果你的多重区域网格包括非一致边界，你必须遵循下面的步骤（首先要保证网格在 FLUENT 中可用）以保证 FLUENT 可以在你的网格上获取一个解。

1. 将已经合并后的网格读入 FLUENT。（如果还没合并请参阅有关网格合并的内容）。
2. 将网格读入之后，将组成非一致边界的承兑区域的类型改为界面。菜单为 Define/Boundary Conditions...。
3. 在网格界面面板中定义非一致网格界面(Figure 1)，菜单为 Define/Grid Interfaces...。

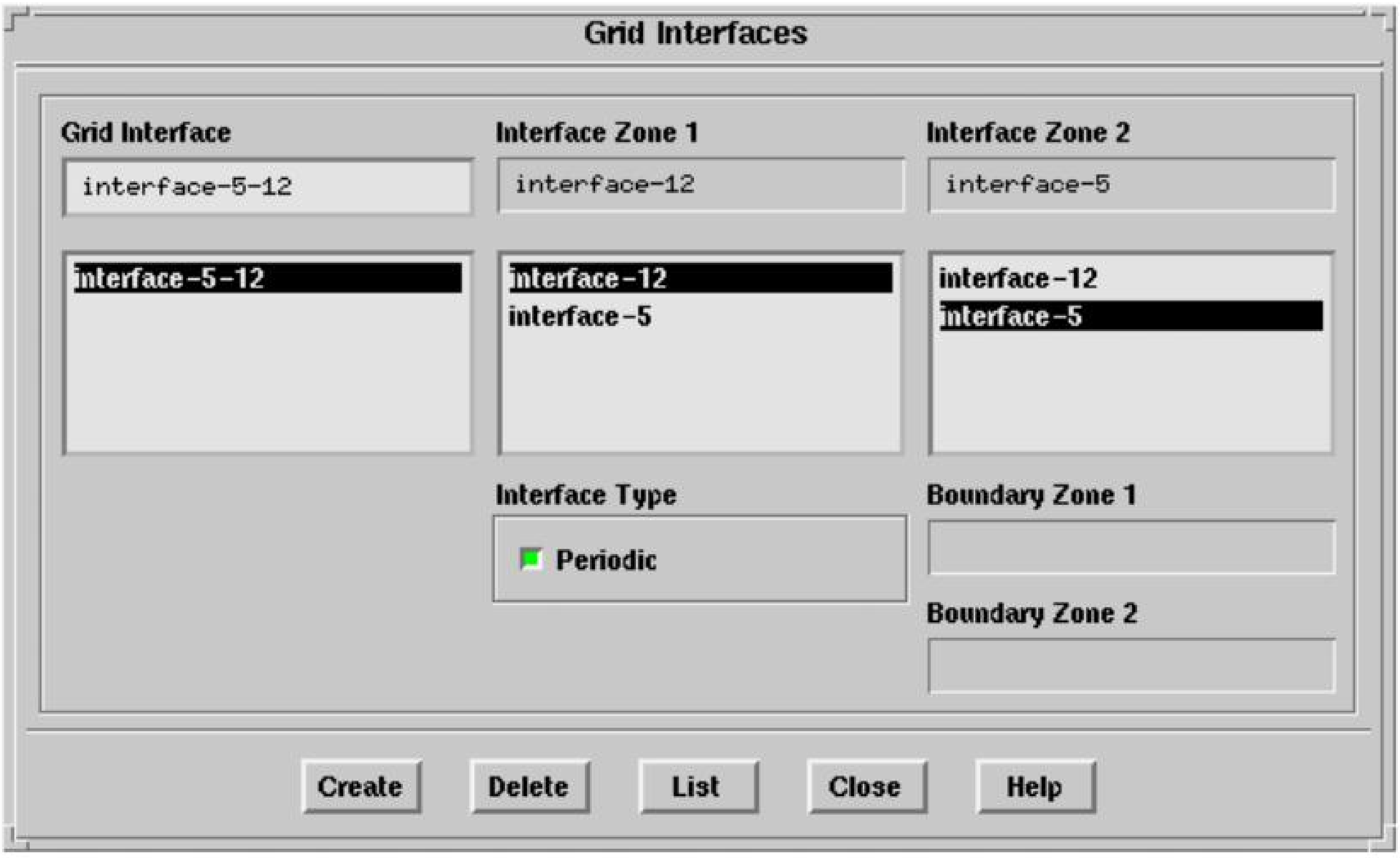


Figure 1: 网格界面面板

1. 在网格界面区域输入界面的名字。
2. 在界面区域的两个列表中制定组成网格界面的两个界面区域。注意：如果你的一个界面区域比另一个小，你应该把较小的界面指定为界面区域一以提高交界面计算的精度。
3. 对于周期性问题，点击界面类型选框以使其他类型无效。
4. 点击创建按钮来创建新的网格界面

如果两个界面区域没有完全重合，检查边界的非重叠部分的边界区域类型。如果边界类型不对，你可以用边界条件改变它。如果你创建的网格界面不正确，可以选中然后删除它(此时界面创建所产生的任何边界区域都会被删除)。然后你可以像通常一样处理问题的设定。

检查网格

FLUENT 中的网格检查提供了区域扩展、体积统计、网格拓扑结构和周期性边界的信息，单一计算的确认以及关于 X 轴的节点位置的确认（对于轴对称算例）。蔡单为：Grid/Check。注意：我们推荐读入解算器之后检查网格的正确性，以在设定问题之前检查任何网格错误。

网格检查信息

网格检查信息会出现在控制台窗口。下面是一个例子。

```
Grid Check
 Domain Extents:
   x-coordinate: min (m) = 0.000000e+00, max (m) = 6.400001e+01
   y-coordinate: min (m) = -4.538534e+00, max (m) = 6.400000e+01
 Volume statistics:
   minimum volume (m3): 2.782193e-01
   maximum volume (m3): 3.926232e+00
     total volume (m3): 1.682930e+03
 Face area statistics:
   minimum face area (m2): 8.015718e-01
   maximum face area (m2): 4.118252e+00
 Checking number of nodes per cell.
 Checking number of faces per cell.
 Checking thread pointers.
 Checking number of cells per face.
 Checking face cells.
 Checking face handedness.
 Checking element type consistency.
 Checking boundary types:
 Checking face pairs.
 Checking periodic boundaries.
 Checking node count.
 Checking nosolve cell count.
 Checking nosolve face count.
Done.
```

区域范围列出了 X、Y 和 Z 坐标的最大值最小值，单位是米。体积统计包括单元体积的最大值、最小值以及总体积，单位是立方米。体积为负值表示一个或多个单元有不正确的连接。通常说来我们可以用 Iso-Value Adaption 确定负体积单元，并在图形窗口中察看它们。进行下一步之前这些负体积必须消除。

拓扑信息首先是每一单元的面和节点数。三角形单元应该有三个面和三个节点，四面体单元应该有四个面和四个节点，四边形单元应该有**四个面**和四个节点，六面体单元应该有六个面和八个节点。

下一步，每一区域的旋转方向将会被检测，区域应该包含所有的右手旋向的面。通常有

负体积的网格都是左手旋项。在这些连通性问题没有解决之前是无法获得流动的解的。
最后的拓扑验证是单元类型的相容性。如果不存在混合单元（三角形和四边形或者四面体和六面体混合），FLUENT 会确定它不需要明了单元类型，这样做可以消除一些不必要的工作。

对于轴对称算例，在 x 轴下方的节点数将被列出。对于轴对称算例来说 x 轴下方是不需有节点的，这是因为轴对称单元的体积是通过旋转二维单元体积得到的，如果 x 轴下方有节点，就会出现负体积。

对于具有旋转周期性边界的解域，FLUENT 会计算周期角的最大值、最小值、平均值以及规定值。通常容易犯的错误是没有正确的指定角度。对于平移性周期边界，FLUENT 会检测边界信息以保证边界确实是周期性的。
最后，证实单一计算。FLUENT 会降解算器所建构的节点、面和单元的数量与网格文件的相应声明相比较。任何不符都会被报告出来。

网格统计报告

网格读入到 FLUENT 中之后有几种方法报告它的信息，你可以报告当前问题的内存使用信息，网格的尺寸，网格分割的统计也可以报告一个区域接一个区域的单元和表面的统计数据。

网格尺寸

点击菜单 Grid/Info/Size 你可以输出节点数、表面数、单元数以及网格的分区数。网格的分区是并行处理所需要的功能。
下面是一个输出的结果

Grid Information

Level	Cells	Faces	Nodes	Partitions
0	48	82	35	1

如果你对于不同区域内有多少节点和表面被分开有兴趣，请点击菜单 Grid/Info/Zones
如果你用的是耦合显式解，将会在每个网格层面的信息。网格层面的信息源于 FAS 多重网格加速方法所产生的粗糙网格层面。下面是一个输出结果：

Grid Information

Level	Cells	Faces	Nodes	Partitions
0	48	82	35	1
1	18	52	0	1
2	7	37	0	1
3	3	27	0	1
4	1	20	0	1

网格区域信息

点击菜单 Grid/Info/Zones 你可以在控制台窗口输出每一区域的节点、表面和单元的信息。网格区域信息包括节点总数，以及对于每一个表面和单元区域来说的表面和单元数、单元的类型，边界条件类型，区域标志等。下面是一个网格区域信息的例子：

Zone sizes:

    21280 hexahedral cells, zone   4.

532 quadrilateral velocity-inlet faces, zone 1.
532 quadrilateral pressure-outlet faces, zone 2.
1040 quadrilateral symmetry faces, zone 3.
1040 quadrilateral symmetry faces, zone 7.
61708 quadrilateral interior faces, zone 5.
1120 quadrilateral wall faces, zone 6.
23493 nodes.

划分（Partition）统计

获取划分统计的信息请点击菜单 Grid/Info/Partitions menu item.。

统计包括单元数，表面数，界面数和与每一划分相邻的划分数。注意我们也可以在划分网格面板点击输出划分按钮生成这个报告。

修改网格

网格被读入之后有几种方法可以修改它。你可以标度和平移网格，可以合并和分离区域，创建或切开周期性边界。除此之外，你可以在区域内记录单元以减少带宽。还可以对网格进行光滑和交换处理。并行处理时还可以分割网格。

注意：不论你何时修改网格，你都应该保存一个新的 case 文件和数据文件（如果有的话）。如果你还想读入旧的 data 文件，也要把旧的 case 保留，因为旧的数据无法在新的 case 中使用。

标度网格

FLUENT 内部存储网格的单位是米——长度的国际单位。网格读入时她回假定网格的长度单位是米，如果你创建网格是使用的是其它长度单位，你必须将网格的标度改为米。具体内容可以参阅单位系统一章。

标度也可以用于改变网格的物理尺寸，虽然这不是单位系统设计的初衷，但是，我们的确可以适当的使用单位系统来改变网格的尺寸，具体的方法，相信每一个聪明人都猜得到了吧。注意：无论你打算以何种方式标度网格，你必须在初始化流场或开始计算之前完成网格的标度。在你标度网格时，任何数据都会无效。点击菜单 Grid /Scale...，出现下面的面板：

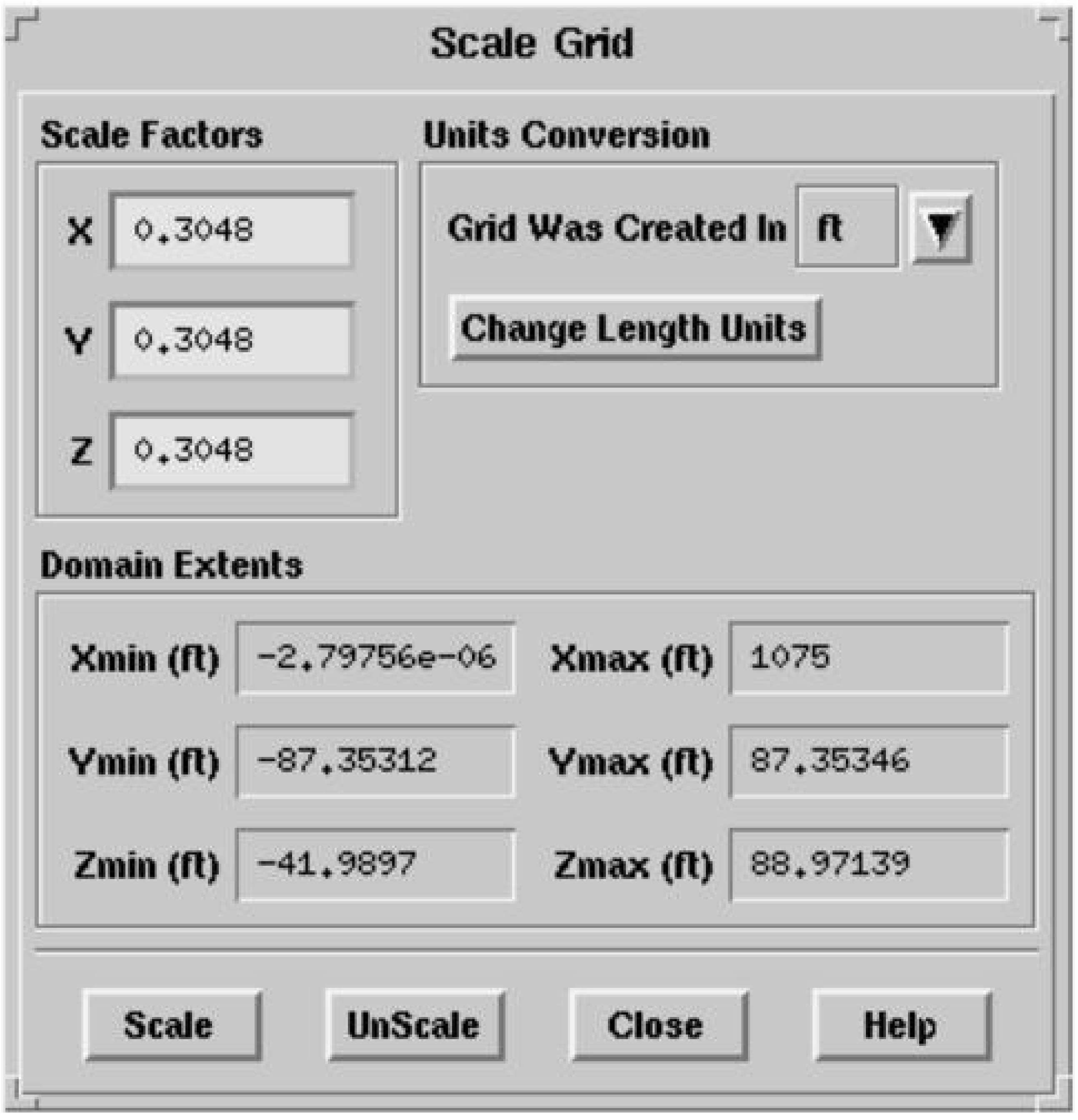


Figure 1:标度网格面板

使用标度网格面板步骤如下：

1. 在下拉列表中，选择适当的在被创建网格中的厘米、毫米、英寸和英尺的缩写来标明单位。标度因子会自动被设为正确值（比如 0.0254 米/英寸或者 0.3048 米/英尺）如果你所用的单位不再列表中，你可以手动自己输入标度因子（比如米/码的因子）。
2. 点击 Scale 按钮。区域范围会被自动更新并以单位米输出正确的范围。如果还是宁愿在 FLUENT 进程中使用最初的单位，你可以标度网格面板改变单位
3. 正如第二步中使用网格标度面板所提到的，当你不改变单位标度网格，你只是转换网格点的最初尺寸，转换方法就是网格坐标乘以转换因子。如果你想要在最初的单位下工作而不将单位改为米，你可以在设定单位面板中点击改变长度单位按钮。点击按钮之后区域范围就会被更新以表明最初单位的范围。这一单位在将来输入的时候将一直使用！

如果你使用了错误的标度因子，偶然点击了标度按钮两次或者就是想重新标度，你可以点击 UnScale 按钮。"Unscaling"用标度因子去除所有的节点坐标。(在创建的网格中选择 m 并且点击 Scale 按钮将不会重新标度网格。)

你也可以使用网格标度面板改变网格的物理尺寸。例如，你的网格是 5 英寸×8 英寸，你可以设定标度因子为 2 得到 10 英寸×16 英寸的网格。

平移网格

你可以指定节点的笛卡尔坐标的偏移量来平移网格。如果网格是通过旋转得到的而不是经过原来的网格得到的，这将对旋转问题很必要。对于轴对称问题，如果网格的设定是由旋转设定而与 x 轴不一致那么这对旋转问题也很必要。如果你想将网格移到特定的点处（如平板的边缘）来画一个距 x 轴有一定距离的 XY 图。

点击菜单 Grid/Translate 弹出平移网格面板（下图）可以平移网格：

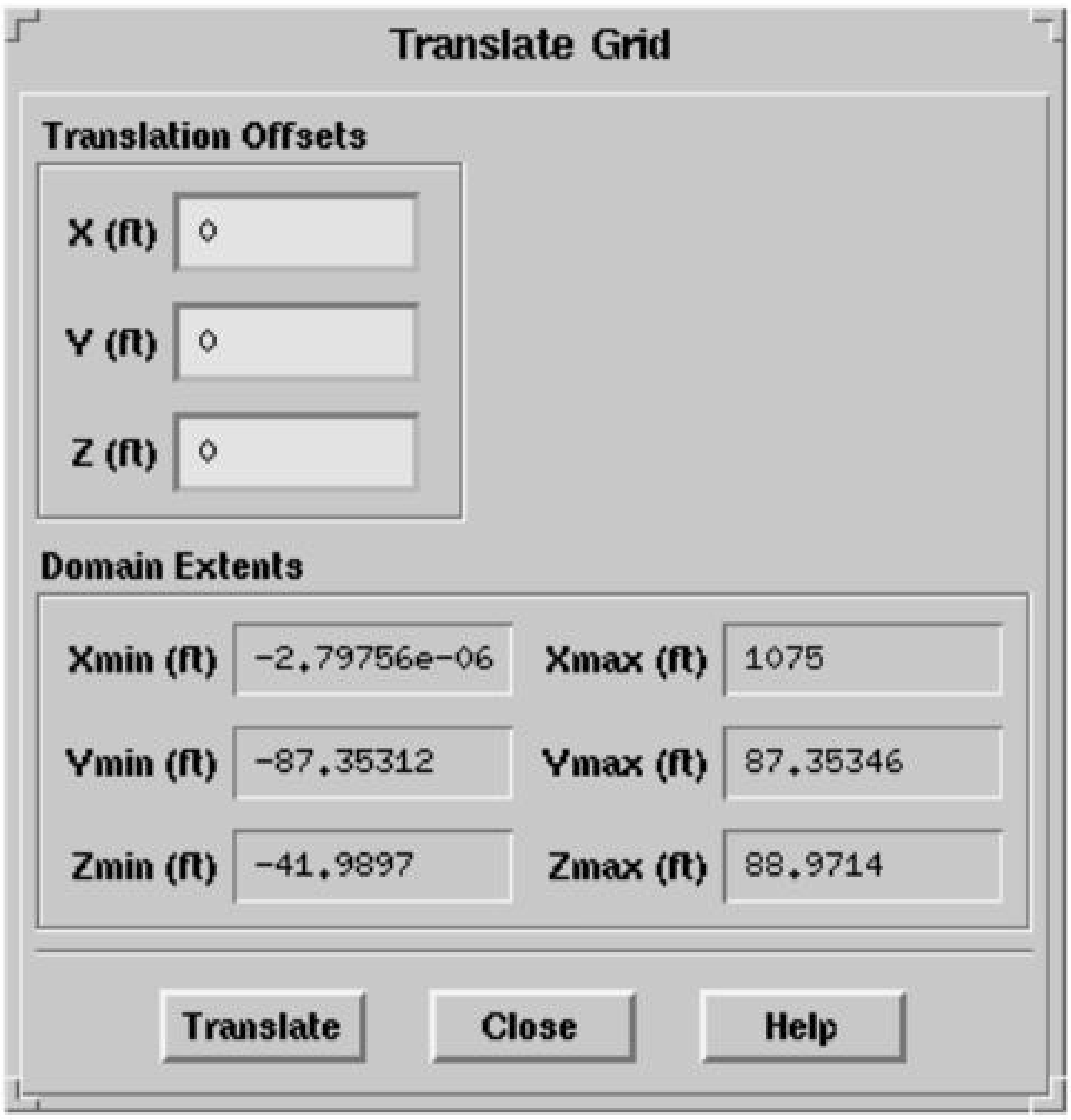


Figure 1: 平移网格面板

使用平移网格面板平移网格步骤如下：

1. 输入偏移量（可以是正负实数）
2. 点击平移按钮，下面的区域范围不可以在这个面板中改变。

合并区域

为了简化解的过程你可能会将区域合并为一个区域。合并区域包括将具有相似类型的多重区域合并为一个。将相似的区域合并之后，会使设定边界条件以及后处理会变得简单。

点击菜单 Grid/Merge...弹出合并网格面板如下：

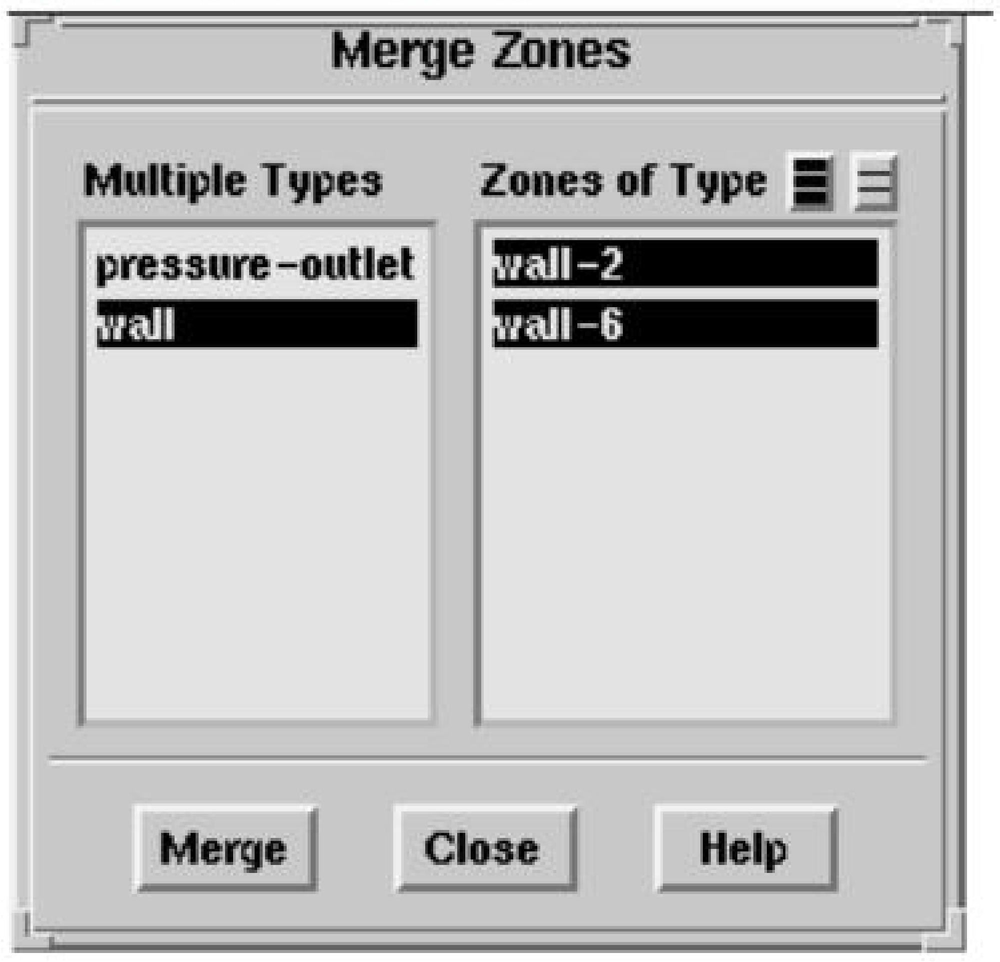


Figure 1: 合并区域面板

什么时候合并区域

FLUENT 允许你将相似类型的区域合并为一个。除非区域的数量已经限制了设置的速度以及数值分析的后处理，否则区域合并是不必要的。例如：对于大量的区域设定相同的边界条件会消耗很多时间而且会消除不相容性。除此之外，数据的后处理通常包括使用区域生

成表面的过程，大量的区域被转换成大量的表面，每一个表面都需要设定各种类型的选项，如颜色等值线，这会消耗大量的时间。幸好现在我们可以将表面合并从而尽量减小太多区域造成的负面影响的而高后处理过程的效率。

虽然合并区域很有用但是有些情况下你就是需要保持大量的区域。这是因为合并区域的过程是不可逆的，大量的区域使得强制（imposing）边界条件的设定更灵活。虽让大量的区域会使得表面的选择单调乏味，但是在表现网格和流场解的时候有更多的选择。例如，产生内部流场解可能很难，如果外部流域是由几个区域组成，这些区域的网格的相关子集可以随着解一起画出来以提供几何外形和解域的相关性。

使用合并区域面板将相同类型的区域合并为一个的步骤如下：

1. 在多重区域列表选择区域类型。这一列表中包多重区域的所有类型。当你选择区域类型之后，相应的区域就会在区域列表中出现。
2. 在区域列表中选择选择两个以上的区域
3. 点击合并按钮，合并所选区域

注意：一定要记住保存新的 case 文件和数据文件（如果数据文件存在）

分割区域

FLUENT 中有几种方法来将单一表面或者单元区域分为多个同一类型的单元。如果你想将一个区域分为几个更小的区域你就可以使用这个功能。例如：对管道创建网格时，你创建了一个壁面区域，而这些壁面区域在不同的位置有不同的温度，你就需要将这个壁面区域分为两个以上的小区域。如果你想用滑动网格模型或多重参考坐标来解决问题，但是你忘记了为具有不同滑动速度的流体区域创建不同的区域，你就需要将这个区域分割。

注意：在任何分割处理之后你都应该保存一个新的 case 文件。如果数据文件存在当分割开始时它们会自动分配到适当的区域，所以你要保存新的数据文件

表面区域有四种分割方法，单元区域有两种分割方法。下面先介绍表面区域的分割方法，然后是单元分割工具的介绍。周期区域的裁剪将在后面介绍。注意：所有的分割方法在你决定分割之前都可以报告分割的结果。

分割表面区域

对于有尖角的几何区域，在具有明显角度的基础上我们很容易分割表面区域。由角度大于或等于特定角度的具有法向矢量的表面会和小于特定角度的表面分为不同的区域。例如，你有一个由立方体组成的网格，立方体的所有六个边都在同一壁面区域，你可以指定特征角为 89 度。因为每一立方体的边的法向矢量由相边的法向 90 度分开，六个边会被分别放在六个壁面区域。如果你有一个小的表面区域，并且想将区域内的每一个表面放到它自己的区域，你就可以在表面的基础上通过分割表面实现。

你也可以在保存在适应寄存器中的标号分割表面区域。比如：你可以在单元所在区域位置（区域适应）的基础上为了适应而标记单元，或者在它们狭窄的边界（边界适应）或者在一些变量等值线或者在其它的适应方法的基础上标记单元（有关适应的内容请参阅相关章节）。当你指定了表面区域分割的寄存器，所有的被标记的单元表面将会放到同一个新区域。（关于你所要使用的寄存器的 ID，你可以使用管理寄存器面板来确定）

最后，你可以在连续性区域的基础上分割表面区域。例如：当你使用耦合边界条件，你需要区域内的表面有一致的方向。一致的方向只能在连续性区域保证，所以你需要将表面区

域分开以保证指定适当的边界条件。使用角度、表面、适应标志或者区域来分割表面区域，请使用分割表面面板(Figure 1)。点击菜单 Grid/Separate/Faces...有如下面板：

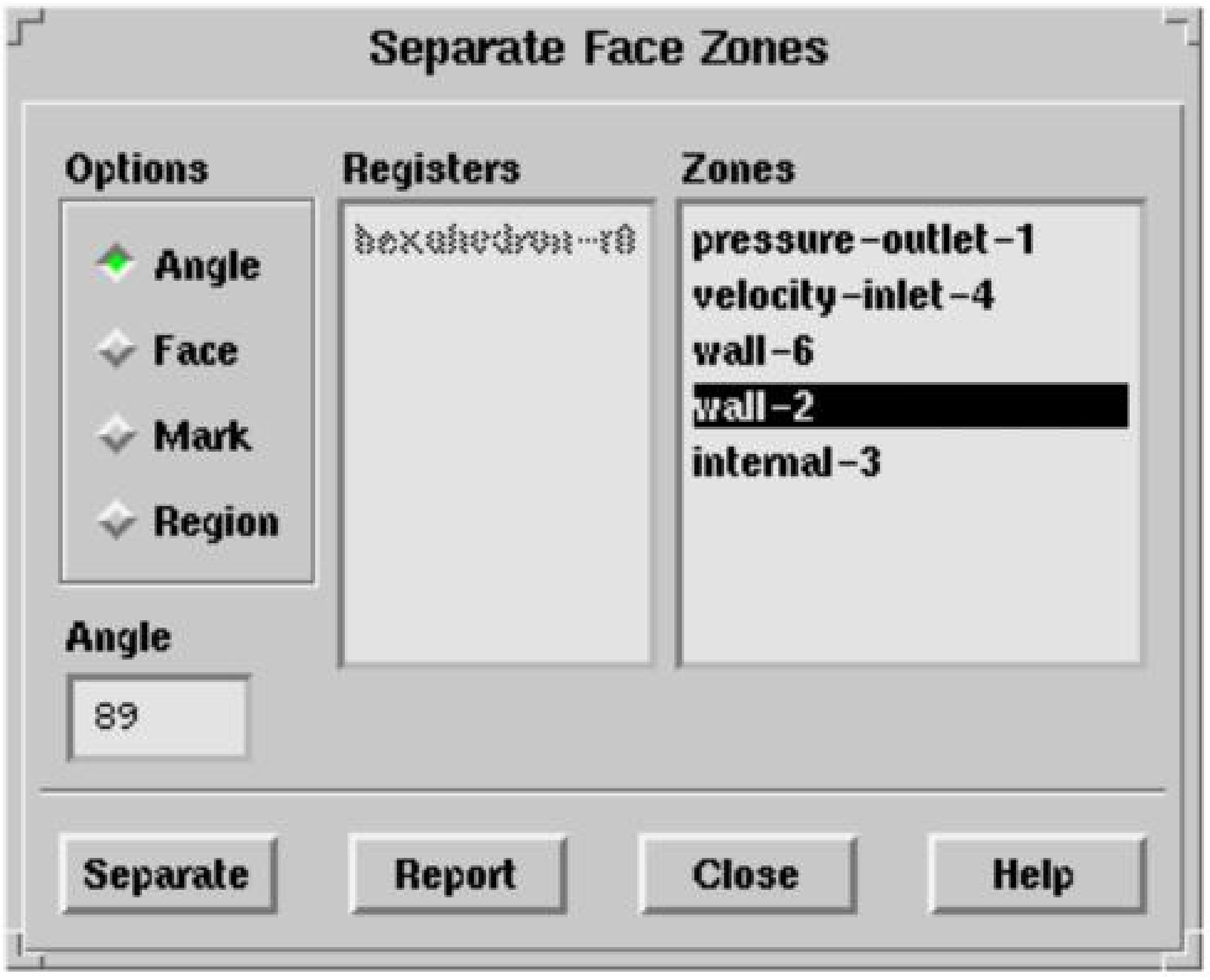


Figure 1:分离表面区域面板

注意：你应该在使用悬挂节点适应方法（默认）进行任何适应之前，先分割表面区域。包含悬挂节点的区域不能分割。

分离表面区域的步骤：

1. 选择分离方法(Angle, Face, Mark, 或者 Region)
2. 在区域列表中选择要分离的区域
3. 如果你用表面或者区域分割请跳到下一步，否则请遵照下面的步骤
   - 如果要用角度分割表面，请在角度集合中指定特征角。
   - 如果你用标记分割表面，选择在寄存器列表中选择所要使用的适应寄存器。
4. （此步可选）在分割之前要检查分割结果请点击 Report 按钮，出现与下面类似的内容：

Zone not separated.
45 faces in contiguous region 0
30 faces in contiguous region 1
11 faces in contiguous region 2
14 faces in contiguous region 3
Separates zone 4 into 4 zone(s).

5. 分离表面区域，请点击 Separate 按钮，FLUENT 会输出下列信息：

45 faces in contiguous region 0
30 faces in contiguous region 1
11 faces in contiguous region 2
14 faces in contiguous region 3
Separates zone 4 into 4 zone(s).
Updating zone information ...
    created zone wall-4:001
    created zone wall-4:002
    created zone wall-4:010
done.

当你使用适应标志分割网格时，你有时可能会发现表面的网格单元会放在错误的表面区域，

你可以用附加的分割方法在角度的基础上解决该问题而将错误的单元放进新的区域。然后你可以将新区域和所要放的区域结合起来。

分割单元区域

如果你有两个及其以上共用内部边界的被包围的单元区域（如下图），但是所有的单元被包含在一个单元区域，你可以用区域分割方法将单元分割为不同的区域。注意，如果共用边界的类型是内部类型，你必须在分割之前把它们改为双边表面区域类型。

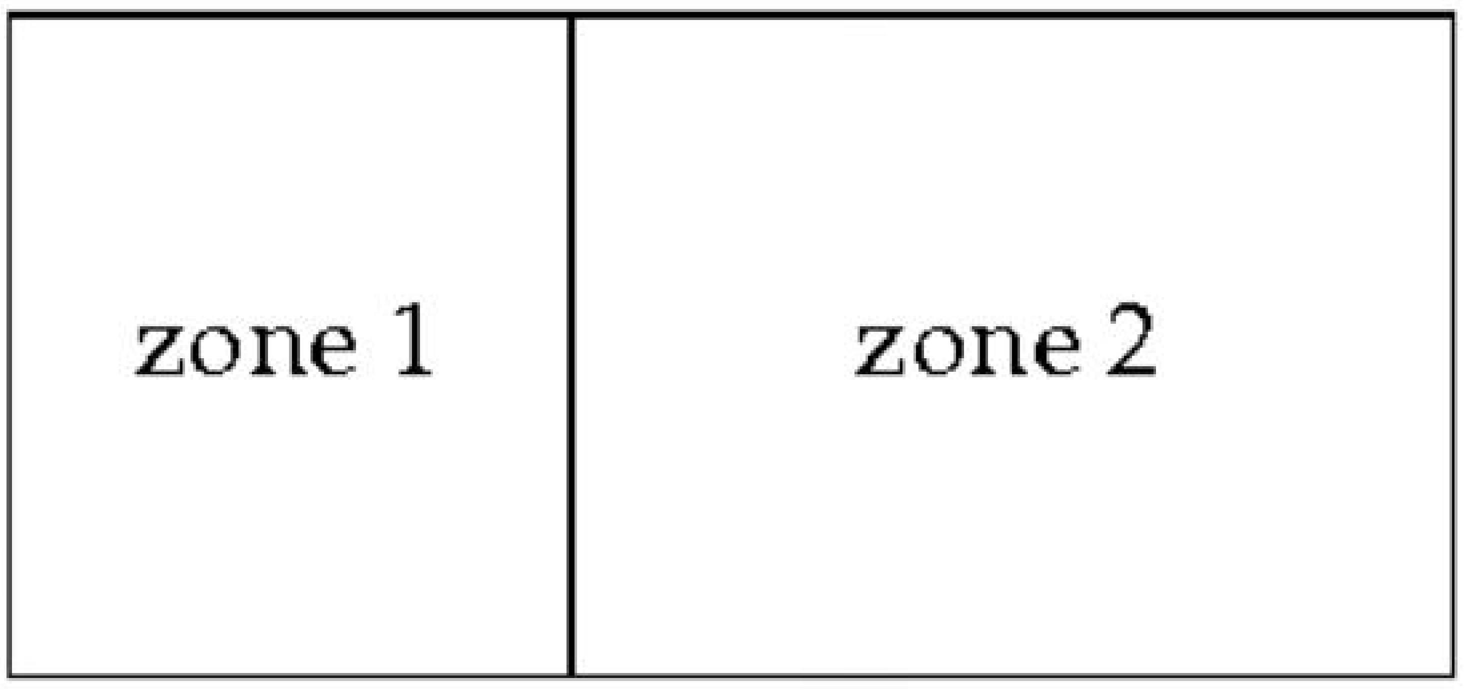


Figure 1: 在区域的基础上分割单元区域

你也可以用适应寄存器中的标志分割单元区域。你可以使用网格适应一章的任何一种适应方法标记单元。当你指定了分割单元区域的寄存器之后，被标记的单元会放在新的单元区域（使用管理寄存器面板确定你所要使用的寄存器的 ID）。要在区域或适应标志的基础上分割单元区域，请点击菜单：Grid/Separate/Cells..弹出如下面板：

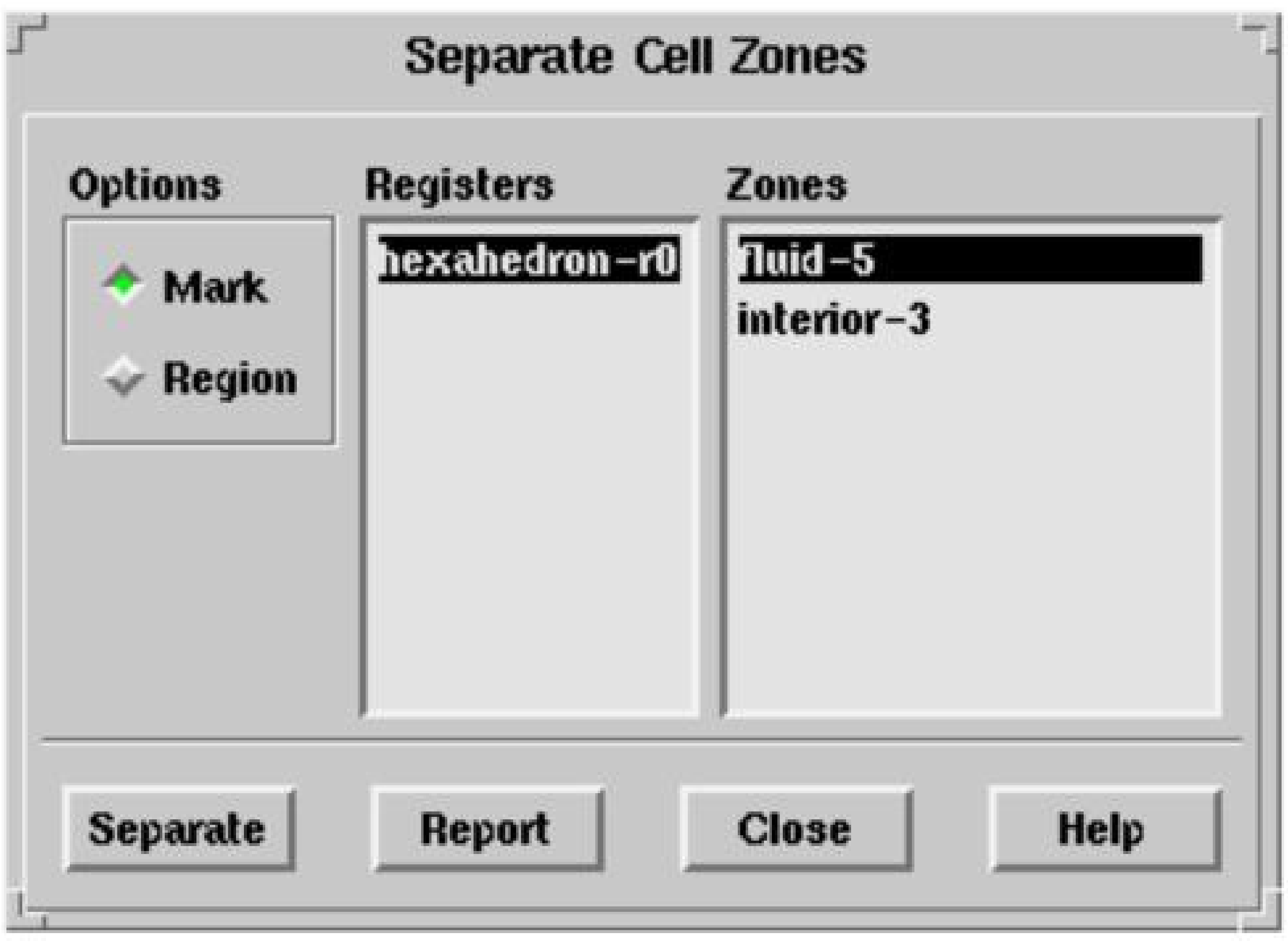


Figure 2: 分割单元区域面板

注意：你应该在使用悬挂节点适应方法（默认）进行任何适应之前，先分割表面区域。包含悬挂节点的区域不能分割。

分离表面区域的步骤：

1. 选择分离方法(Mark 或者 Region)
2. 在区域列表中选择要分离的区域
3. 如果你用标志分割区域，在寄存器列表中选择适应寄存器。
4. 此步可选）在分割之前要检查分割结果请点击 Report 按钮，出现与下面类似的内容：

Zone not separated.

Separates zone 14 into two zones, with 1275 and 32 cells.

5. 分离表面区域，请点击 Separate 按钮，FLUENT 会输出下列信息：

Separates zone 14 into two zones, with 1275 and 32 cells.

No faces marked on thread, 2

No faces marked on thread, 3

No faces marked on thread, 1

No faces marked on thread, 5

No faces marked on thread, 7

No faces marked on thread, 8

No faces marked on thread, 9

No faces marked on thread, 61

Separates zone 62 into two zones, with 1763 and 58 faces.

All faces marked on thread, 4

No faces marked on thread, 66

Moved 20 faces from face zone 4 to zone 6

Updating zone information ...

Moved 32 cells from cell zone 14 to zone 10

  created zone interior-4

  created zone interior-6

  created zone fluid-14:010

done.

如上例所示，单元区域的分离通常也会表面区域的分割。如果你用标志分割，被移到新区域的表面单元将会放在新的表面区域。当你用区域分割时，被移到新区域的表面单元将不必被放在新的表面区域。如果任何表面被放错，请参阅分割表面区域一节。

创建周期区域

如果两个区域有相同的节点和表面分布，你可以将这对表面区域耦合来为网格分配周期性。在前处理过程中，你必须保证所要分配周期性边界的两个区域具有相同的几何图形和节点分布，也即它们是相互的复制。这是在解算器中创建网格周期性区域的唯一需要，两个区域的最初边界类型是不相关的。

注意：在创建和裁剪周期性边界条件之后，保存新的 case 文件（如果有数据文件也要保存）。要匹配一对边界条件，请使用如下创建周期性文本命令：Grid/modify-zones/make-periodic。你需要指定组成匹配的成对边界条件的两个表面区域（你可以输入它们的全名或仅仅是他们的 ID，并指出它们是旋转性还是平移性边界条件。你指定周期性区域和该周期的匹配域（shadow）的顺序并不重要。

```
/grid/modify-zones> mp
Periodic zone [()] 1
Shadow zone [()] 4
Rotational periodic? (if no, translational) [yes] n
Create periodic zones? [yes] yes
  computed translation deltas: -2.000000 -2.000000
  all 10 faces matched for zones 1 and 4.
```

zone 4 deleted
Created periodic zones.

当你创建周期性边界时，解算器会检查所选区域内的表面是否匹配（也就是说相应表面的节点是否一致）。表面匹配的公差是表面边缘最小长度的分数倍。如果周期性边界条件创建失败，你可以用 matching-tolerance 命令改变匹配公差，但是匹配公差不可以超过 0.5，否则周期性区域匹配将不正确，并且会破坏网格。菜单：Grid/modify-zones/matching-tolerance。

剪裁（slit）周期性区域

如果你想将周期性成对区域解耦你可以使用剪裁周期性命令：Grid/modify-zones/slit-periodic。然后你指定周期性区域的名字或者 ID，解算器就会将两个区域解耦，然后将它们改为两个对称性区域。
/grid/modify-zones> sp
periodic zone [()] periodic-1
Separated periodic zone.

熔合（Fusing）表面区域

在组合多重网格区域之后，表面熔合是一个很方便的功能，它可以将边界熔合将节点和表面合并。当区域被分为子区域，并且每一个子区域分别产生网格时，你需要在将网格读入解算器之前，把子区域结合为一个文件。(详细内容请参阅多重网格文件一节。比如说：在你产生多块网格的每一块并且将它们分别保存在不同的网格文件中，或者在网格生成过程中，为复杂几何图形的每一部分保存一个网格文件（注意：在子区域接触的位置，网格节点的位置在边界处不必相同，具体内容请参阅非一致网格一节），就需要熔合表面区域。点击菜单 Grid/Fuse...弹出下面面板，允许你将双重节点合并，并将人工内部边界删除。

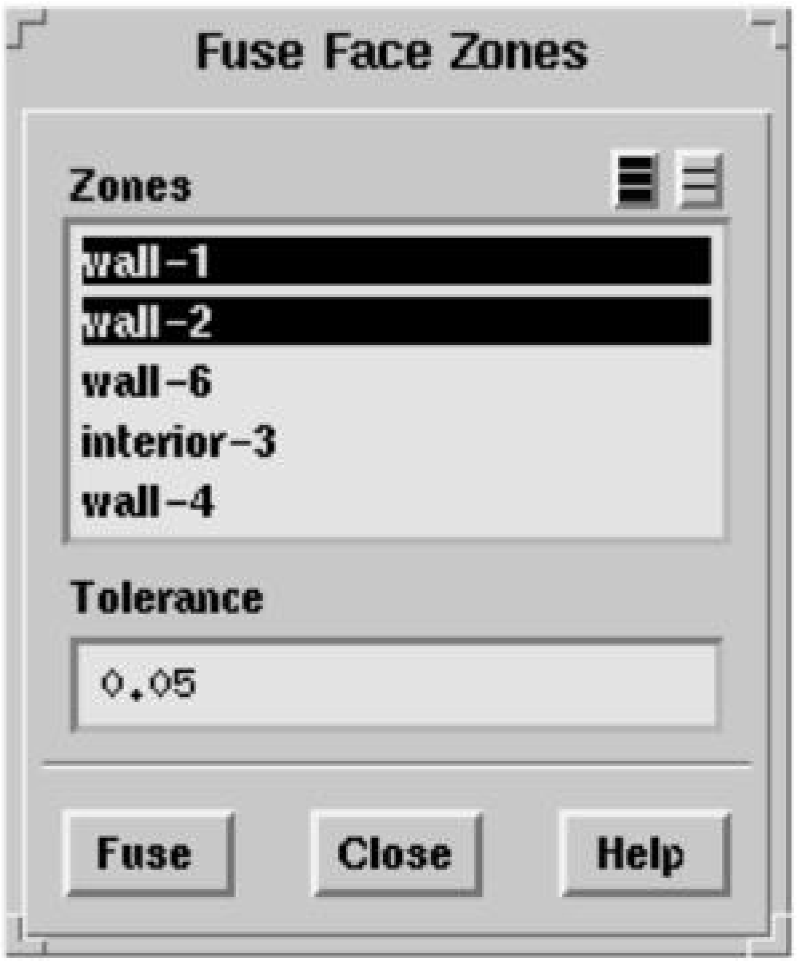


Figure 1: 熔合表面区域面板

如读入多重网格文件一节所叙述的，当网格文件被合并起来时，双重节点所在的边界被分配给区域 ID 号（就像任何其它边界一样）。你需要在 tmerge 或者 TGrid 报告过程中明了区域的 ID 号，或者当全部的网格被读入之后，显示所有边界网格区域并用鼠标指针按钮确定边界的名字（详细内容请参阅关于鼠标按钮函数信息控制的鼠标按钮函数）。

熔合表面区域所需要输入的东西

熔合表面区域的步骤如下：
1. 在区域列表中选择要熔合的区域。
2. 点击 Fuse 按钮熔合所选区域。

如果使用默认公差没有熔合所有适当的表面，你应该增加公差尝试重新熔合。(这一公差和创建周期性区域所讨论的匹配公差一致)。公差不应该超过 0.5，或者你可能熔合了错误的节点。千万要记住熔合表面之后保存新文件！！！

结构网格生成器或解算器读入的网格通常只能是具有凹角分支切口的 O 型或者 C 型网格，在这个切口上一致的双重节点在一个周期性边界。因为 FLUENT 使用非结构网格，所以不必保留人工内部边界。(当然你可以保持周期性边界，解算器就会使用周期性边界条件来解决问题)。

要让周期性区域自己熔合，你必须首先裁剪边界区域。这将会创建可以融合的对称性区域。注意：如果你需要熔合非周期性区域的部分和它自己，你必须使用文本命令：fuse-face-zones，菜单：Grid/modify-zones/fuse-face-zones。这一命令会提示你确定所要熔合区域的名字或者 ID（你需要输入同一区域两次）。改变节点公差请使用匹配公差（matching-tolerance）命令。

剪开表面区域

剪开表面区域功能有两种用途：

- 你可以将任何双边类型的单一边界区域剪开为两个不同的区域。
- 你可以将耦合壁面区域剪开为两个不同的非耦合壁面区域

当你剪开表面区域，解算器会将除了在区域的二维端点或三维边缘节点以外的所有的表面和节点复制。一组节点和表面将会属于剪开之后的一个边界区域，其它的在另一个区域。每一个端点的共享节点的唯一坏的影响就是，当你用裁剪边界图形化显示数据解时，你会在那些点处看到一些错误。(注意：如果你裁剪完边界之后，你将不能再将边界熔合。)

一般说来，你不必手动剪彩表面区域。说边避免会被自动裁剪党仍然保持耦合（这一耦合只涉及网格，不涉及热耦合）。适应过程将这些周期性边界看成耦合壁面；在一个壁面的适应导致了在 shadow 处的相同适应。如果你想要独立于壁面的 shadow 适应一个壁面，你应该裁剪耦合壁面来获得两个不同的壁面。

你不可以混淆剪开表面"slitting"和分割表面"separating"命令。剪开表面是指，剪开表面后附加的表面和节点被创建并放到新的区域。分离表面是指新的区域将会被创建，新的节点和表面不会被创建，原表面和节点简单的重新分配到区域中。

剪开表面区域所需要输入的内容

要剪开表面使用下面命令：Grid/modify-zones/slit-face-zone。指定表面区域的名字或 ID，解算器会用两个区域替换原区域。

```
/grid/modify-zones> slfz
face zone id/name [] wall-4
  zone 4 deleted
  face zone 4 created
  face zone 10 created
```

千万要记住：剪开表面后记住保存新文件，case 和 data 文件不管有哪个都要保存。

记录流域（Domain）和区域（Zones）

记录区域可以通过重新排列内存的节点、表面以及单元提高解算器的计算性能。Grid/Reorder 包含重新记录 domain 和 zones 的命令，并且能够输出目前网格划分的带宽。Domain 的记录可以提高内存的读写效率，并且可以为用户界面很方便的记录区域。带宽提供了察看内存中的单元分布。

记录区域菜单：Grid/Reorder/Domain

最后，你选择输出带宽菜单，输出目前网格的划分。这一命令输出每一网格划分的半带宽和最大的存储距离。菜单：Grid/Reorder/Print Bandwidth。每次做这些操作时，一定要记住保存新的文件！

关于记录

反 Cuthill-McKee 算法被用于记录过程，来创建区域内种子单元（seed cell）的层次树。首先使用 Gibbs, Poole,和 Stockmeyer[57]算法选择一个单元（被称为种子单元）。然后每一单元根据它距种子单元的距离被分配给一定的层次。这些层次被分配组成层次树。一般说来，表面和单元被记录以便于邻近单元在区域和内存之中是相互靠近的。因为大多数计算循环是在表面上的，所以你希望高速缓存中的两个单元在同一时刻，以减少缓存或者磁盘扫描的时间，也就是说，你希望在内存中的单元相互靠近以减少内存存取的时间。目前的格式记录了区域内的表面和单元以及内存中的节点、表面和单元。

你也可以选择记录这些区域，记录的区域首先是区域类型然后是区域的 ID。使用用户界面可以很方便地实现区域记录。

使用区域记录的典型输出如下：

```
>> Reordering domain: zones, cells, faces, done.
   Bandwidth reduction = 809/21 = 38.52
   Done.
```

如果你想察看带宽，可以看到如下报告：

```
Maximum cell distance = 21
```

带宽是相邻单元的最大差值，也就是说，在区域列表中的每一单元顺次标号，并比较这些索引的差别。

并行处理的网格分割

如果你打算使用 FLUENT 的并行解算器，你应该将网格划分或者再细分为成组的单元，以便于它们可以在并行处理器上得到解决（见 Figure 1）。划分可以采用 FLUENT 的一系列版本，也可以采用划分转换器。划分网格之后，请保存 case 文件并将它们读入到并行解算器中。一个被划分的网格可以被用于系列解算器中而不会丧失任何性能。如果你的主机工作站有足够的内存，你可以用划分转换器将网格直接读入到 FLUENT 中。然而如果你的网格太大而不能读入到系列解算器中也不能读入到划分转换器中，或者你不想自己划分网格，你可以将未划分的网格直接读入的并行解算器中，解算器会自动使用"Cartesian Strip"方法对它进行划分（这种方法没有前述两种方法好）。

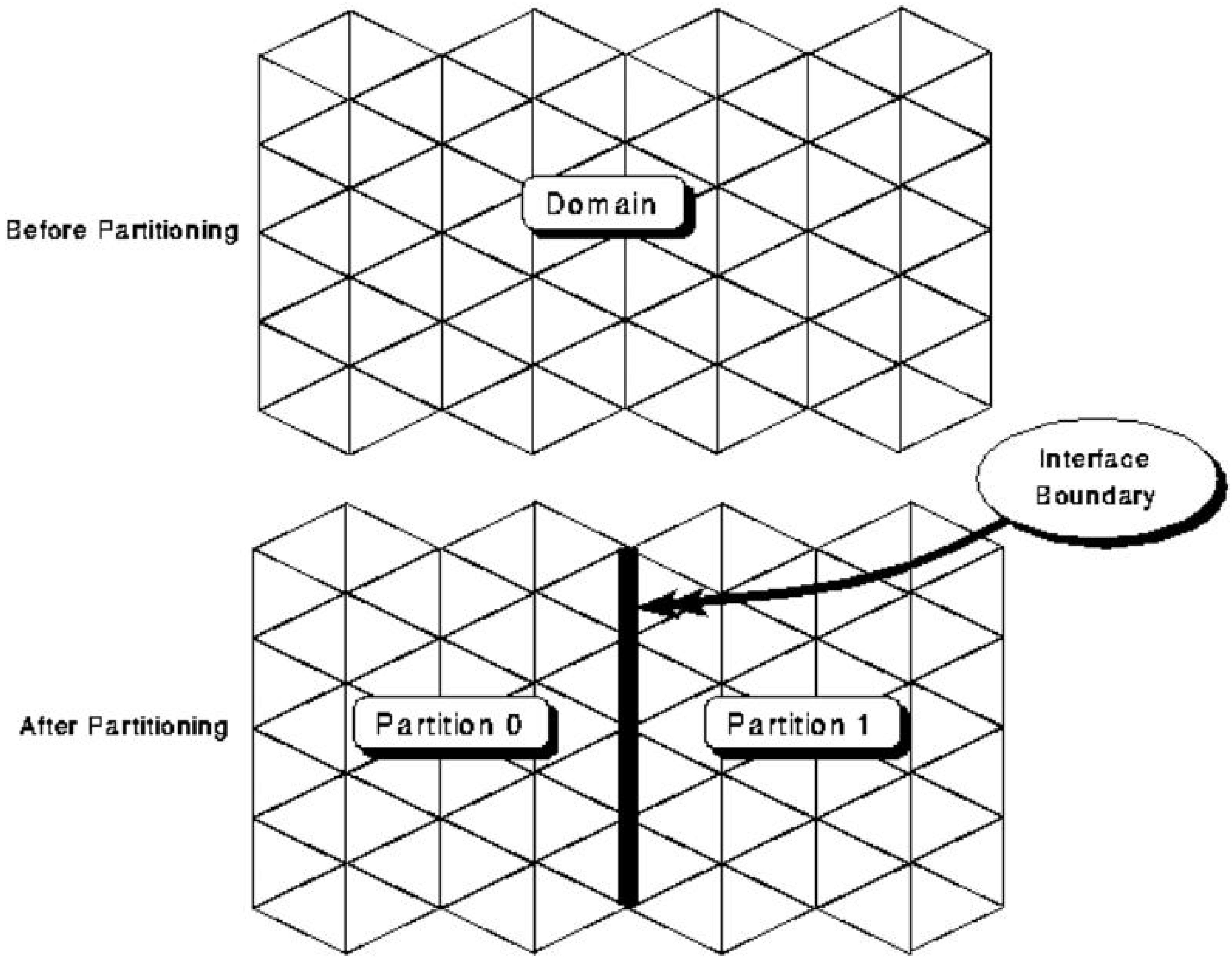


Figure 1: 划分网格

网格划分方法

并行处理的网格划分有三个目的

- 用等量单元创建划分
- 最小化划分界面的数量，也就是减少划分边界表面的面积
- 最小化相邻划分的数量。

平衡划分（使单元数量相等）保证每个处理器的负载相等，并保证各个划分在同一时间进行信息传递。因为划分之间的信息传递是相对耗时的过程，最小化界面的数量可以减少数据交换的时间。最小化划分邻域的数量可以减少网络和路由的竞争机会。除此之外，在初始信息传递的花费比更长信息的传递的花费更多的机器上，最小化划分邻域是十分重要的，尤其是对于网络连接的工作站来说。

FLUENT 中的划分格式是使用对分算法来创建划分的，但是不像其它的划分格式需要划分因子为二，这一格式对划分的数量没有限制。对于每一个处理器来说，你要创建相同数量的划分（也就是说划分的数量应该是处理器数量的整数倍）

对分（Bisection）方法

网格划分采用对分算法。所选算法首先用于父区域的划分，然后再用于子区域的划分。比如说：要将网格划分为四个部分，首先对分为相等的两个部分，然后再将这两个相等的部分分别对分为两个更小的子部分。如果要划分三部分的话，首先将网格划分为三分之一为一部分，三分之二为另一部分，然后再将三分之二的部分对分为两个部分。

网格划分可以用下面的列出的任何一种方法。至于最为有效的方法视具体问题而定，所以你可以试用不同的方法，直到找出最好的方法为止。详细内容请看：推荐划分策略的网格

划分指导方针。
笛卡尔轴：在单元的笛卡尔坐标的基础上对分区域(见 Figure 1)。它用垂直于坐标轴的最长的区域范围来对分区域和子区域。通常被称为坐标对分
笛卡尔带：使用笛卡尔坐标对分，但是所有的对分线都限制在父区域的最长对分线方向。这种方法通常可以最小化对分邻域的的数量
笛卡尔 X-, Y-, Z 坐标：在单元的笛卡尔坐标的基础上对分区域，但是它的父区域和子区域的对分线都垂直于特定的坐标方向(见 Figure 2.)。
笛卡尔 R 轴：对分的基础为单元中心到产生最小界面尺寸的距离的坐标轴的最短射线距离。这种方法只在三维网格中使用。
笛卡尔 RX-, RY-, RZ 坐标：对分的基础为单元中心到选定坐标轴的最短射线距离。
圆柱坐标：对分的基础为单元的柱坐标系,这种方法只在三维网格中使用。
圆柱 R-, Theta-, Z-坐标：对分的基础为选定的柱坐标系,这种方法只在三维网格中使用。
主轴：对分的基础为平行于主轴的坐标框架(见 Figure 3)。如果主轴平行于笛卡尔坐标轴 ，该方法就被简化为笛卡尔轴划分，这一算法也通常被称为动量、惯量或者惯量的动量划分。该方法是 FLUENT 默认的划分方法。
主带：使用动量划分，但限制在父区域最长的延长线的主轴方向(见 Figure 4)。通常用这种方法最小化划分邻域的数量。
主 X-, Y-, Z-坐标：划分的基础在于选定的主轴(见 Figure 4)。
极轴：划分的基础在于单元的极轴，这种方法只用于二维网格的划分。
极 R-轴、极 Theta-轴：划分的基础在于所选的极轴，只用于二维情况(见 Figure 5)。
球轴：划分是基于单元的球坐标系，只用于三维情况
球 Rho-, Theta-, Phi-坐标：划分基于所选的球坐标。只用于三维情况。

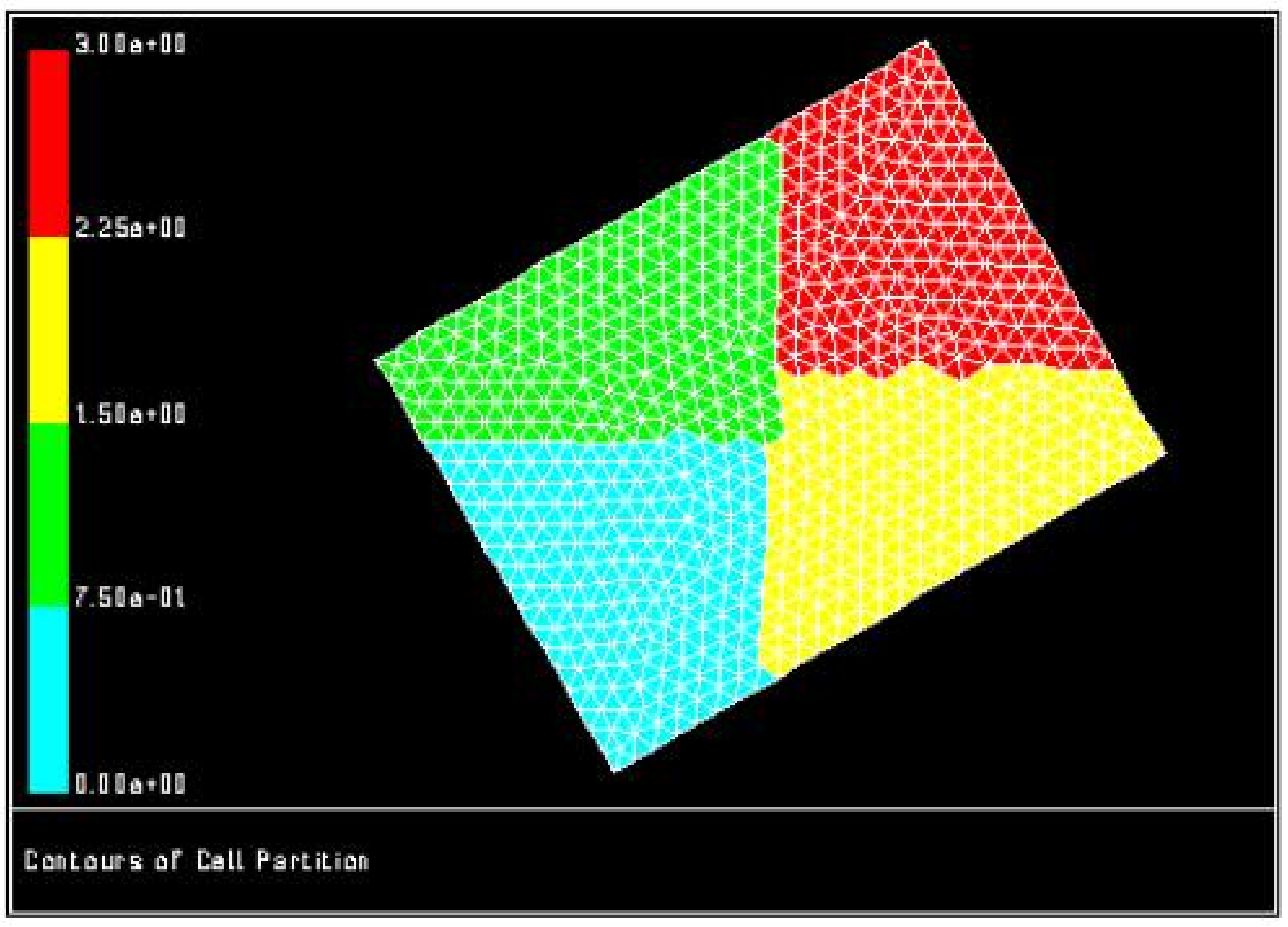


Figure 1: 笛卡尔轴方法

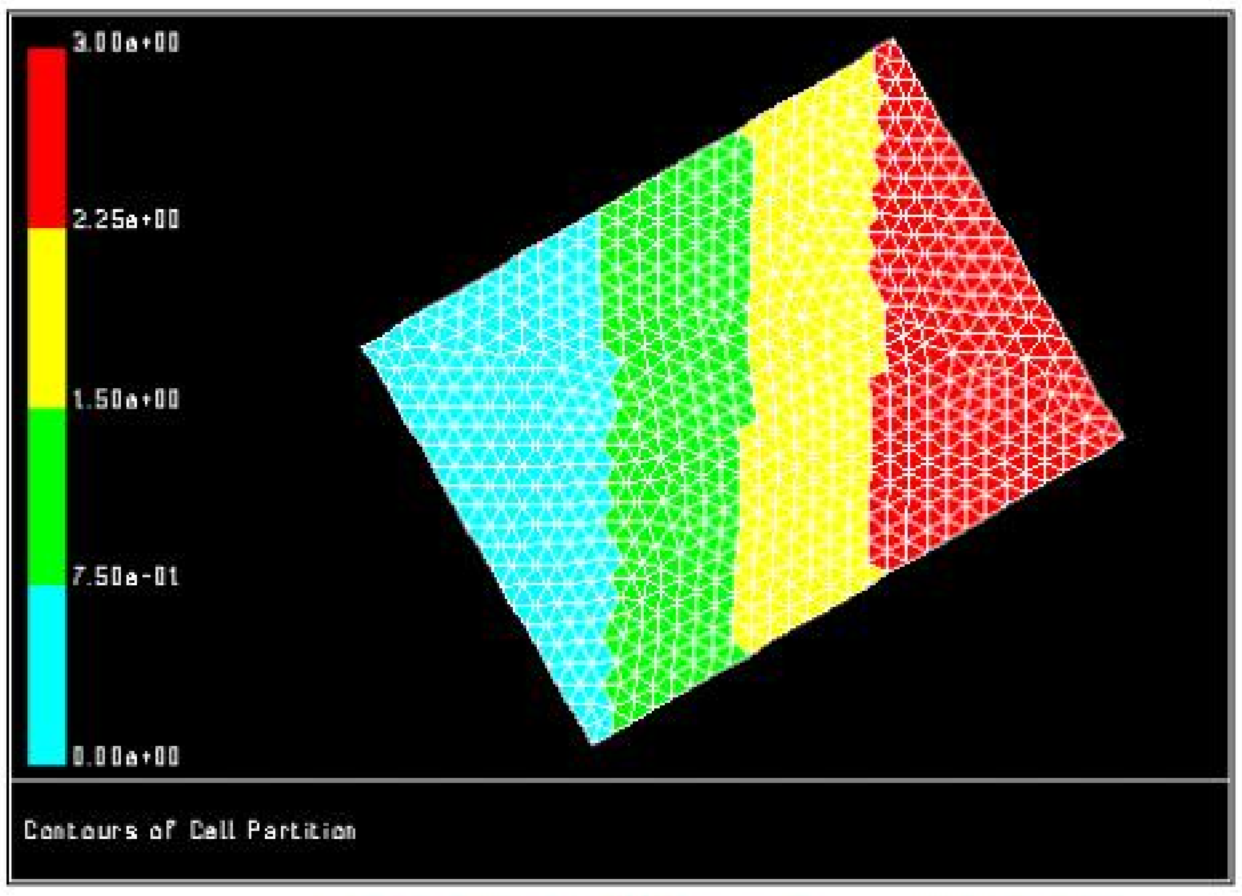


Figure 2:笛卡尔带或者笛卡尔 X-坐标方法

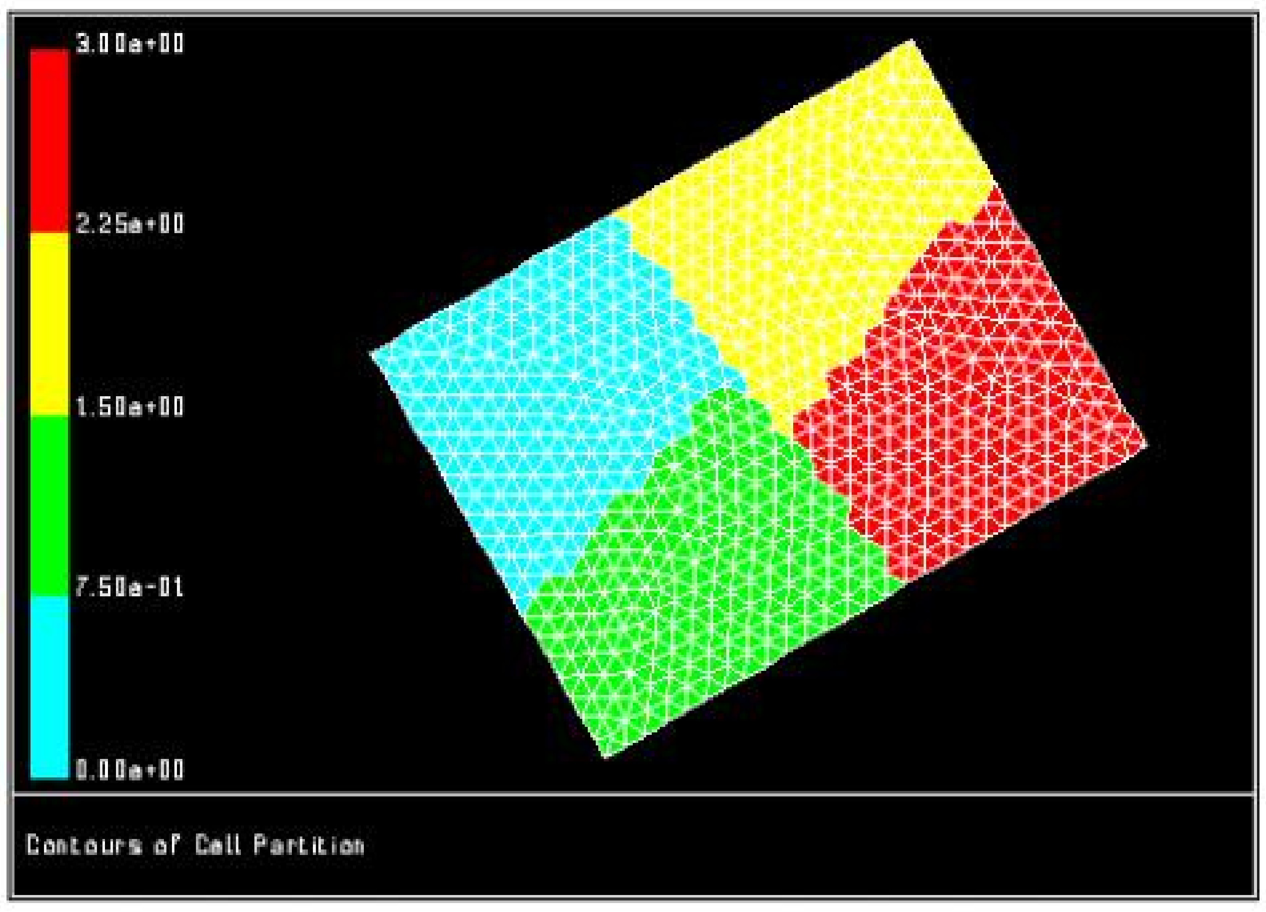


Figure 3:主轴方法

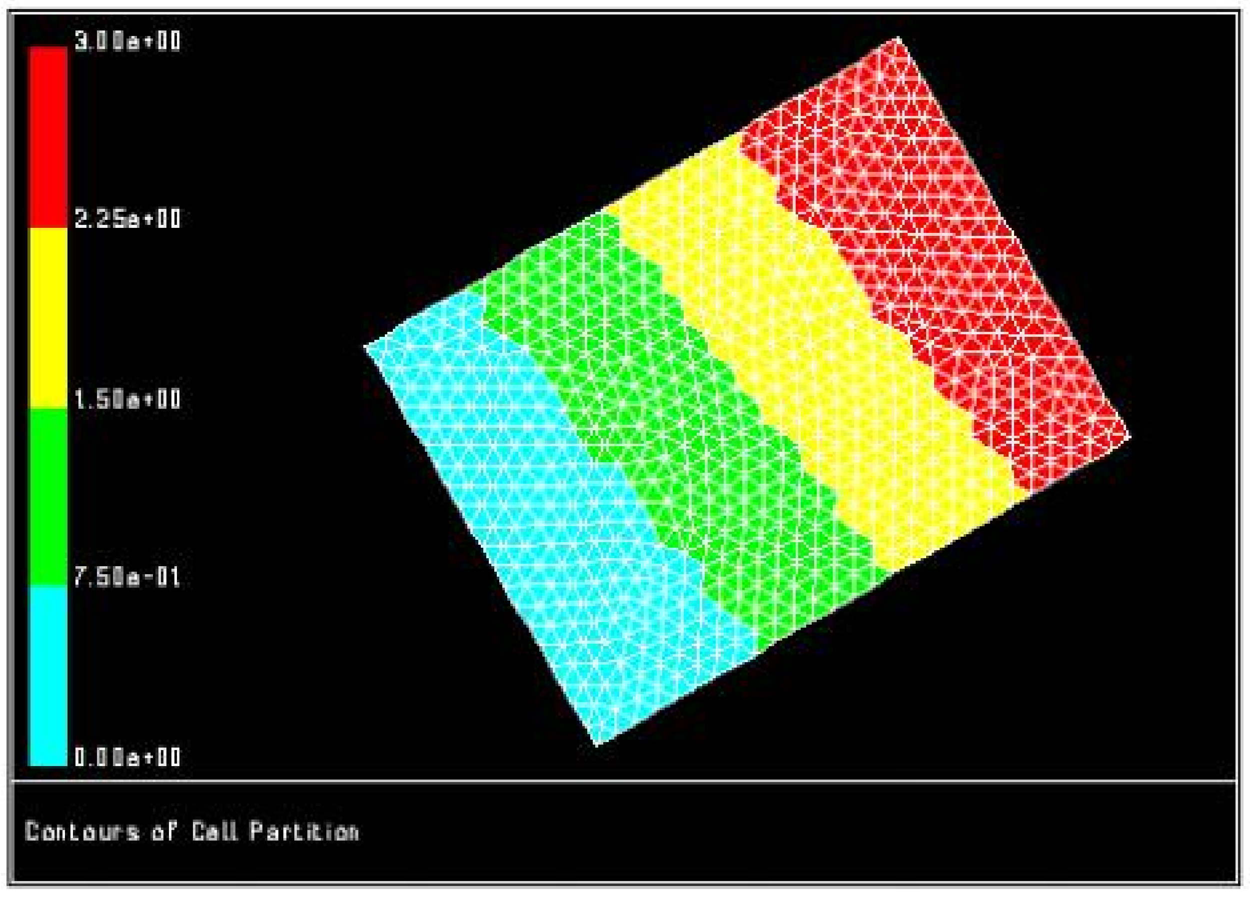


Figure 4:主带或者主 X-坐标方法

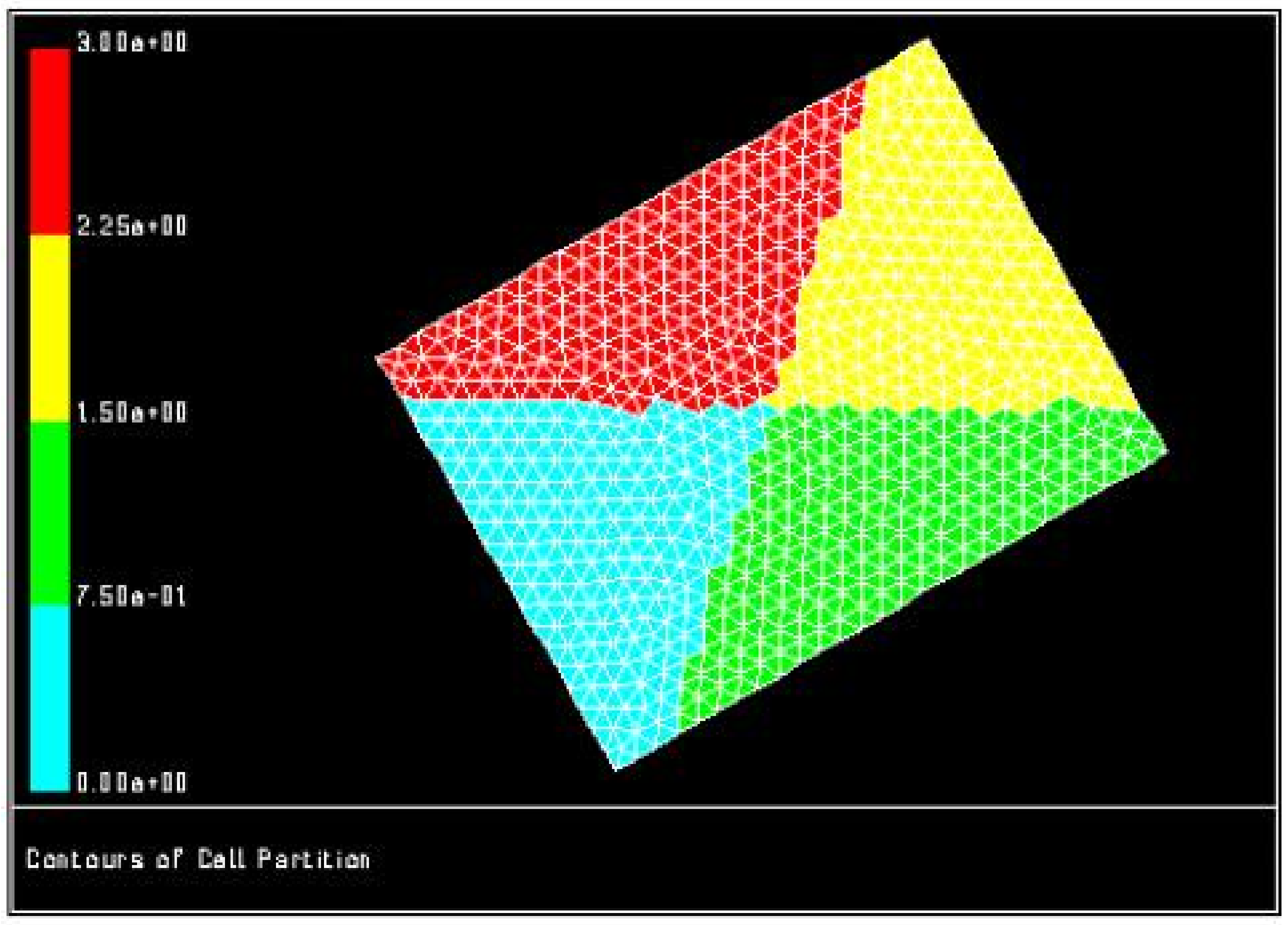


Figure 5:急轴或者极 Theta-坐标方法

最优化

附加的最优化可以提高网格划分的质量。垂直于区域最长宽度的的划分未必是产生最小界面边界的方法。“预先测试（pre-testing）”操作(见预先测试一节)可以用于划分之前自动选择最优方向。除此之外还有下面的反复迭代最优化方法：

光滑：通过交换划分之间单元来最小化划分界面的数量。这一格式详细研究了划分边界，而且如果界面边界表面减少，它会将单元给相邻的划分。(见 Figure 1)

合并：尝试消除每一划分的孤立丛。孤立丛是指这样一组单元，它们组内的每一个单元至少有一个表面与界面边界一致(见 Figure 2.)。孤立丛会降低多重网格的性能，并导致大量的信息交流而花费时间。

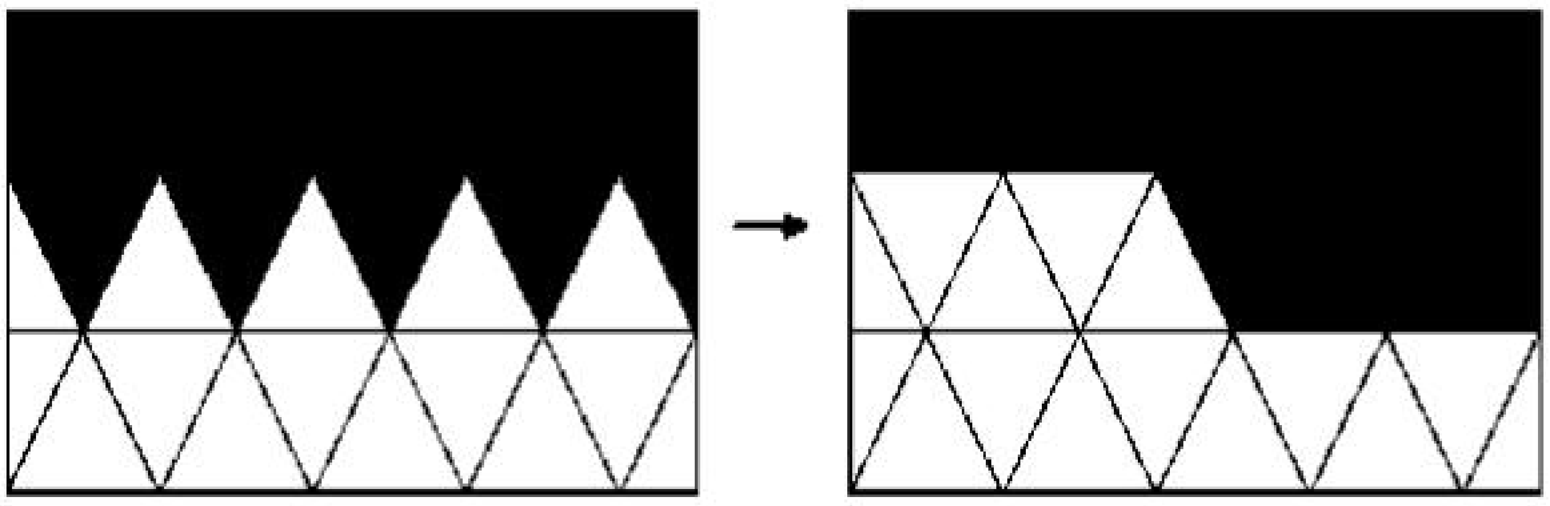


Figure 1: 光滑最优化方法

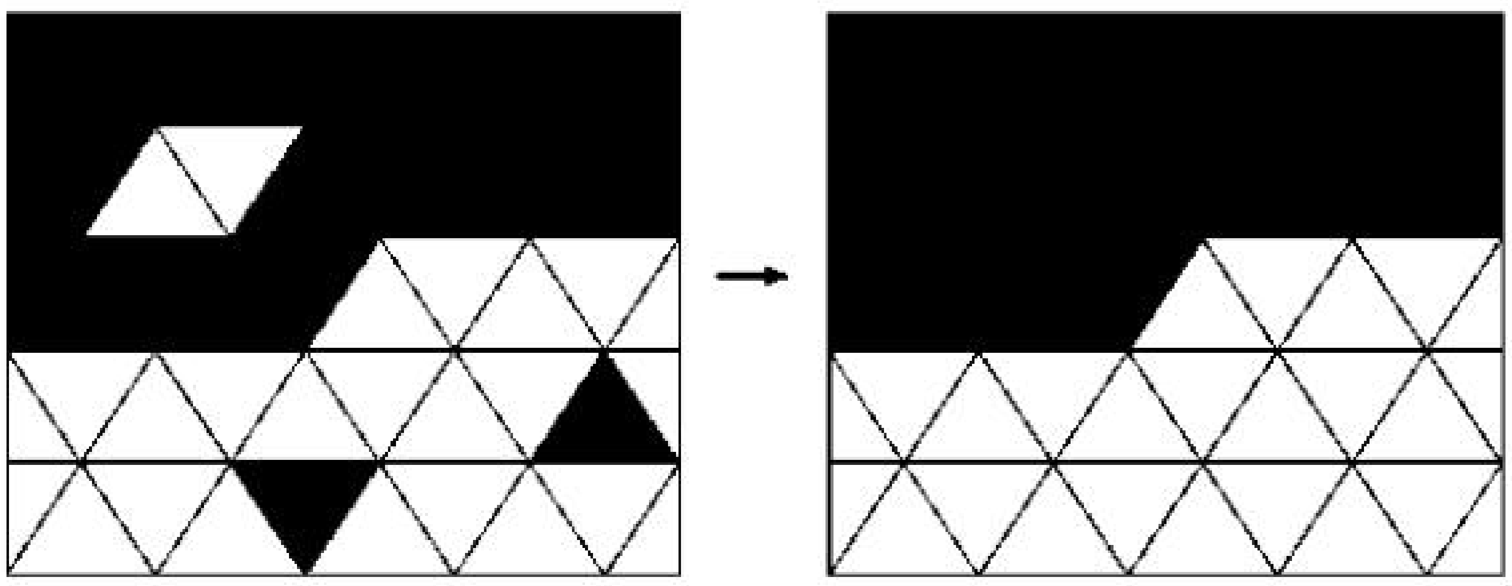


Figure 2: 合并最优化方法

一般说来，光滑和合并是相对耗费时间的最优化工具。

预先测试（Pretesting）

如果你选择主轴方法或者笛卡尔坐标方法，你可以提前检测不同对分方法来提高对分的性能，默认是不选择预先测试，此时 FLUENT 在垂直区域最长范围方向进行对分。
如果使用提前预测，当你在划分网格面板点击划分按钮时自动执行提前预测。对分算法，会检测所有的坐标方向并选择产生最少对分界面的算法为最后的对分算法。注意：使用提前预测会增加对分所需的时间，对于二维问题会花费二倍的时间，对于三维问题会花费四倍的时间。

在区域和寄存器中划分

将对分限制在单元区域或者寄存器可以使你灵活的在流域的子区域中应用不同的划分方法。例如：对于连接矩形管道的圆柱形通风系统，你可以用柱坐标轴方法划分圆柱形通风系统，用笛卡尔坐标轴方法划分矩形管道。如果圆柱形和矩形在两个不同的单元区域，你可以选择一个区域执行所需要的划分。如果它们在同一个单元区域，你可以用适应方法中标记单元的函数为每一个区域创建一个单元寄存器（基本上是一个单元列表）。这些寄存器允许你在物理位置，单元体积，特定变量的梯度或等值线等参数的基础上标记单元。关于为适应标记单元的信息请参阅网格适应一章。管理适应寄存器提供了操作不同寄存器创建新寄存器的的信息。一旦你创建了新的寄存器你就可以用它来进行网格划分了。

划分网格的指导方针

下面是划分网格的推荐步骤：

1. 用默认的划分方法（主轴划分）并最优化（光滑）。
2. 在解释划分统计中检查划分统计。你的目标是在保持平衡负载（单元变化）时实现界面比率变化和全局界面比率的最小值。如果统计不可接受可以选择其它的划分方法。
3. 如果对于你的问题已经选择了最好的对分方法，你就可以选择是否打开提前预测功能来进一步提高。
4. 如果需要的话，你也可以选择合并最优化方法提高划分的性能。

使用网格划分面板

对于网格划分，你可以选择创建网格划分的对分方法，设定划分数，选择区域和/或寄存器以及选择所要使用的最优化方法。有些方法，你可以执行提前预测功能保证尽可能好的划分。当你在网格划分面板中设定了所有参数，点击划分按钮将网格按照所选的方法和设定进行再细分。点击菜单 Grid/Partition...，弹出下面对话框：

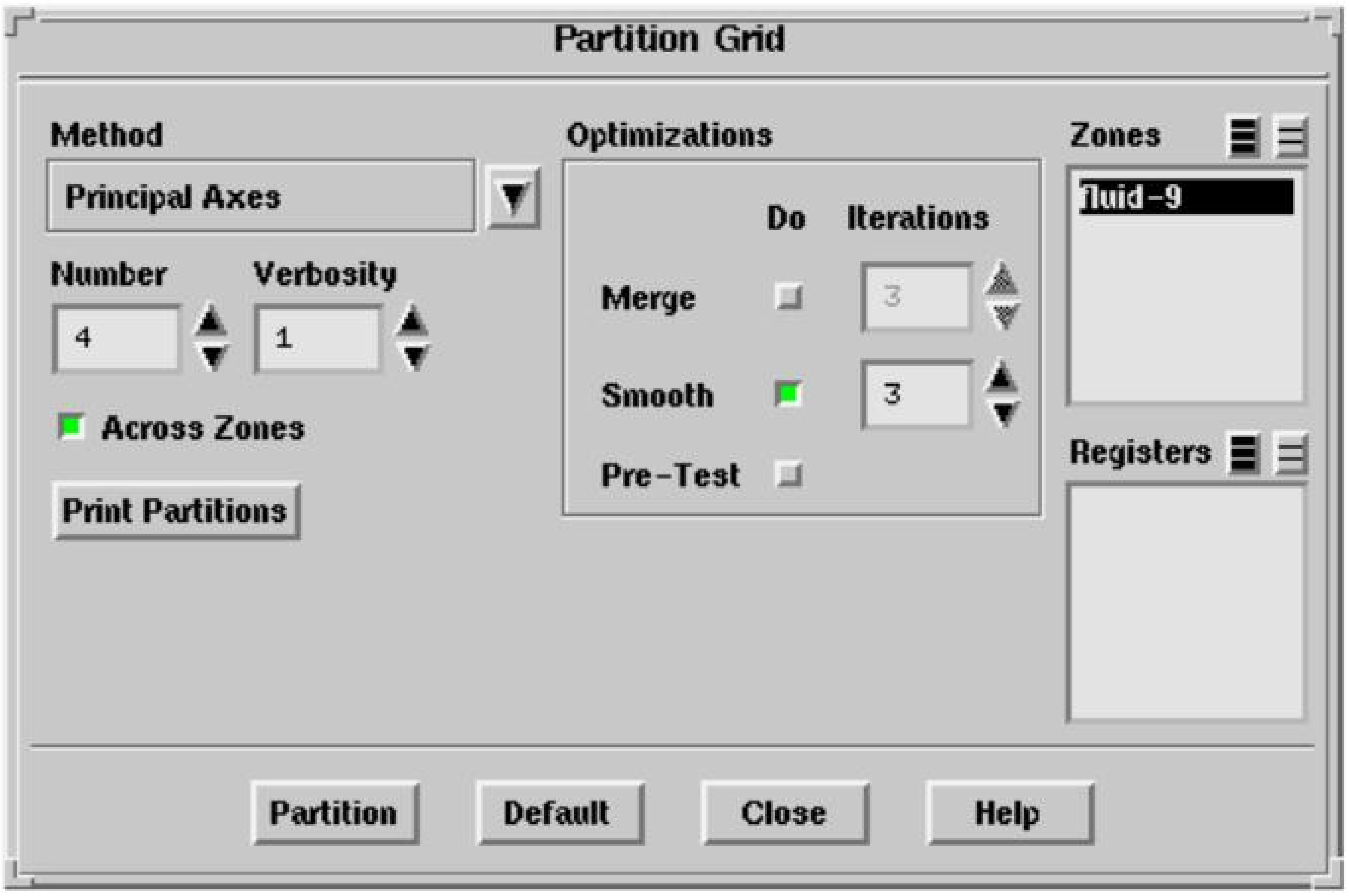


Figure 1:网格划分面板

1. 在方法下拉列表中选择对份方法。选择是对分方法中所描述的技巧。
2. 在 Number 框中输入要划分的的数量（必须是处理器数量的整数倍）。
3. 你可以选择在每一个单元区域独立应用划分，你也可以使用穿越区域检查按钮来允许划分穿越区域边界。除非在不同区域的单元需要大量的计算时间（比如包括固体和流体的区域），否则不推荐使用独立的单元划分（关掉区域检查按钮就可以实现独立的单元划分）。
4. 你可以在最优化条目中激活并控制所需的最优化方法。你也可以通过打开 Do 检查按钮来，激活合并和光滑格式。对于每一个格式你也可以选择重复的次数，这样，每一个最优化格式会被应用直到实现适当的判据或达到最大的重复步。如果重复步被设为零，最优化格式会被一直应用到最后，而没有最大重复步限制。
5. 如果你选择主轴方法、笛卡尔坐标或者笛卡尔带方法，你可以在划分执行之前应用不同对分方向的自动检测来提高划分的质量。(Pre-Test）
6. 在 Zones 和/或 Registers 列表中，选择你要划分的区域和/或寄存器。大多数情况下你会选择所有区域（默认情况）划分整个流域，详细内容请参阅在区域和寄存器内划分一节。
7. 点击划分按钮划分网格

在划分过程中报告划分信息

网格划分时，关于划分过程的信息会在文本（控制台）窗口中输出，解算器会输出所创建划分的数量，对分的数量，划分所需的时间，单元、表面、界面以及表面比率变化的最大值和最小值。Verbosity 的默认设定值是 1，如果你将它改为 2，那么控制台窗口还会输出所用的划分方法，划分的 ID，单元、表面和界面的数量以及每一划分的界面与表面的比值。如果 Verbosity 为 0，控制台窗口将只输出划分数量和所需时间。

划分完成后你可能需要这一报告的某一部分重新输出，你可以点击 Print Partitions 按钮，程序会自动在控制台窗口输出划分 ID，单元、表面和界面数以及每一划分的界面和表面的比率。除此之外还会输出单元、表面、界面以及表面比率变化的最大值和最小值。详情请见划分统计解释。

重置划分参数

如果你想改变划分参数的设定，你可以点击 Default 按钮回到 FLUENT 的默认设定。点

击默认设定之后，Default 按钮就变成了 Reset 按钮。Reset 按钮允许你回到最近保存的设定（也就是你点击 Default 按钮之前的设定值）。执行之后，Reset 按钮又会变成 Default 按钮。

划分统计解释

划分过程产生的输出包括循环的细分过程以及重复的最优化过程的信息。随后是最后划分网格的信息，包括：划分 ID，单元的数量，表面的数量，界面表面的数量，每一划分的界面和表面的比率，划分邻域的数量以及单元、表面、界面、邻域、平均单元、表面比率和全局表面比率的变化。全局表面比率的变化是指目前划分各自数量的最大值和最小值。例如，下面的输出，划分 0 和 3 具有最小的界面数(10)，划分 1 和 2 具有最大的界面数(19)，因此，变化为 10 – 19。

你的目标是实现界面比率变化和全局界面比率的最小值来平衡负载值（单元变化）。

>> Partitions:

P	Cells	I-Cells	Cell Ratio	Faces	I-Faces	Face Ratio	Neighbors
0	134	10	0.075	217	10	0.046	1
1	137	19	0.139	222	19	0.086	2
2	134	19	0.142	218	19	0.087	2
3	137	10	0.073	223	10	0.045	1

```
------
Partition count              = 4
Cell variation               = (134 - 137)
Mean cell variation          = (  -1.1% -     1.1%)
Intercell variation          = (10 - 19)
Intercell ratio variation    = (   7.3% -    14.2%)
Global intercell ratio       =    10.7%
Face variation               = (217 - 223)
Interface variation          = (10 - 19)
Interface ratio variation    = (   4.5% -     8.7%)
Global interface ratio       =     3.4%
Neighbor variation           = (1 - 2)

Computing connected regions; type ^C to interrupt.
Connected region count       = 4
```

要获取更多的划分信息，你可以画出网格划分的等值线，如对分方法 5 的 Figures 1 所示。在等值线面板的下拉菜单的 Cell Info...中关闭节点值的显示，选择单元划分。(关于等值线的显示请参阅画等值线与轮廓一节。)

使用划分转换器

运行并行 FLUENT 时，你可以通过划分转换器直接读入未划分的网格。菜单为：File/Import/Partition/Metis...。FLUENT 会使用过滤器划分网格，然后将划分后的网格读入到解算器中，划分的数量等于处理器的数量。然后你就可以处理模型定义和解法的定义。注意：这种直接读入的方法要求主机有足够的内存来运行特定网格的转换器。如果没有足够的内存，你需要在有足够内存的机器上运行划分网格转换器。当然也可以在具有足够内存的机器

上用转换器划分网格然后，然后将网格读入到主机中。在转换器中，手动划分网格请输入如下命令：tfilter partition input-filename partition-count output-filename。其中，partition-count 为所需划分的数量。然后将划分后的网格读入到解算器中进行模型的定义和解法的设置。

METIS 为默认的划分器，它会产生高质量的划分网格。METIS 是由 Minnesota 大学和 Army HPC 研究中心的 Karypis 与 Kumar 开发的划分不规则图形的软件包。它使用多级方法，该方法将高质量图形的顶点和边缘接合形成粗糙图形，然后将粗糙图形划分，再然后去粗糙化为精细图形。在粗糙化和去粗糙化过程中，算法允许产生高质量的划分。有关 METIS 的详细信息可以参阅相关手册[79]。

第 06 章 fluent 边界条件

改变边界区域类型

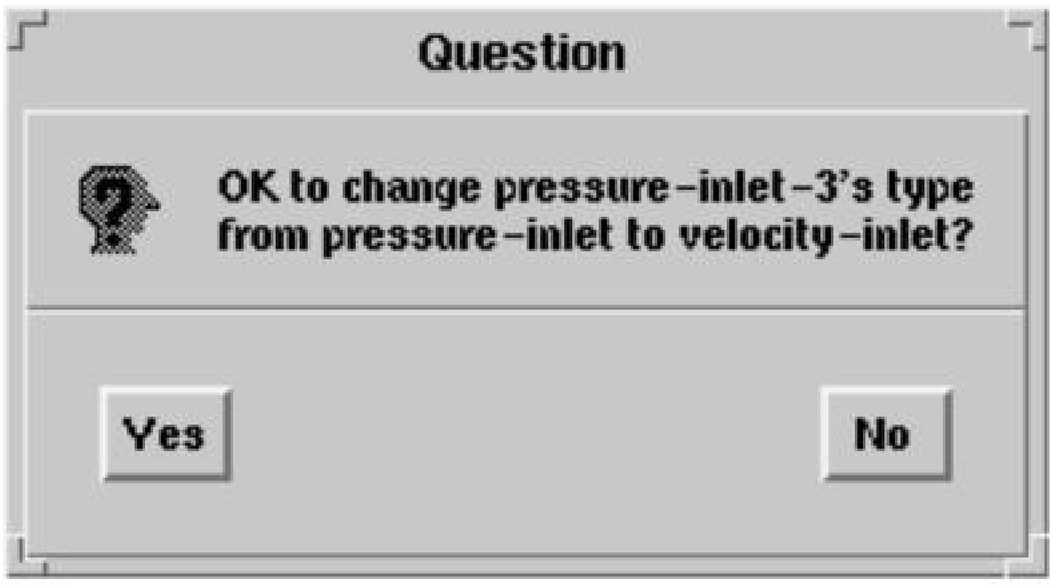
设定任何边界条件之前，必须检查所有边界区域的区域类型，如有必要就作适当的修改。比方说：如果你的网格是压力入口，但是你想要使用速度入口，你就要把压力入口改为速度入口之后再设定。

改变类型的步骤如下：:

1.在区域下拉列表中选定所要修改的区域

2.在类型列表中选择正确的区域类型

3.当问题提示菜单出现时，点击确认



确认改变之后，区域类型将会改变，名字也将自动改变 (如果初始名字时缺省的请参阅边界条件区域名字一节),设定区域边界条件的面板也将自动打开。

！注意：这个方法不能用于改变周期性类型，因为该边界类型已经存在了附加限制。创建边界条件一节解释了如何创建和分开周期性区域。需要注意的是，只能在图一中每一个类别中改变边界类型(注意：双边区域表面是分离的不同单元区域.)

Category	Zone Types
Faces	axis, outflow, mass flow inlet, pressure far-field, pressure inlet, pressure outlet, symmetry, velocity inlet, wall, inlet vent, intake fan, outlet vent, exhaust fan
Double-Sided Faces	fan, interior, porous jump, radiator, wall
Periodic	periodic
Cells	fluid, solid (porous is a type of fluid cell)

Figure 1: 区域类型的分类列表

流动入口和出口

FLUENT 有很多的边界条件允许流动进入或者流出解域。下面一节描述了每一种边界条件的类型的使用以及所需要的信息，这样就帮助你适当的选择边界条件。下面还提供了湍流参数的入口值的确定方法。

使用流动边界条件

下面对流动边界条件的使用作一概述

对于流动的出入口，FLUENT 提供了十种边界单元类型：速度入口、压力入口、质量入口、压力出口、压力远场、质量出口，进风口，进气扇，出风口以及排气扇。

下面是 FLUENT 中的进出口边界条件选项：

- 速度入口边界条件用于定义流动入口边界的速度和标量
- 压力入口边界条件用来定义流动入口边界的总压和其它标量。
- 质量流动入口边界条件用于可压流规定入口的质量流速。在不可压流中不必指定入口的质量流，因为当密度是常数时，速度入口边界条件就确定了质量流条件。
- 压力出口边界条件用于定义流动出口的静压（在回流中还包括其它的标量）。当出现回流时，使用压力出口边界条件来代替质量出口条件常常有更好的收敛速度。
- 压力远场条件用于模拟无穷远处的自由可压流动，该流动的自由流马赫数以及静态条件已经指定了。这一边界类型只用于可压流。
- 质量出口边界条件用于在解决流动问题之前，所模拟的流动出口的流速和压力的详细情况还未知的情况。在流动出口是完全发展的时候这一条件是适合的，这是因为质量出口边界条件假定出了压力之外的所有流动变量正法向梯度为零。对于可压流计算，这一条件是不适合的。
- 进风口边界条件用于模拟具有指定的损失系数，流动方向以及周围（入口）环境总压和总温的进风口。
- 进气扇边界条件用于模拟外部进气扇，它具有指定的压力跳跃，流动方向以及周围（进口）总压和总温。
- 通风口边界条件用于模拟通风口，它具有指定的损失系数以及周围环境（排放处）的静压和静温。
- 排气扇边界条件用于模拟外部排气扇，它具有指定的压力跳跃以及周围环境（排放处）的静压。

决定湍流参数

在入口、出口或远场边界流入流域的流动，FLUENT 需要指定输运标量的值。本节描述了对于特定模型需要哪些量，并且该如何指定它们。也为确定流入边界值最为合适的方法提供了指导方针。

湍流量的统一说明

在某些情况下流动流入开始时，将边界处的所有湍流量指定为统一值是适当的。比如说，在进入管道的流体，远场边界，甚至完全发展的管流中，湍流量的精确轮廓是未知的。

在大多数湍流流动中，湍流的更高层次产生于边界层而不是流动边界进入流域的地方，因此这就导致了计算结果对流入边界值相对来说不敏感。然而必须注意的是要保证边界值不

是非物理边界。非物理边界会导致你的解不准确或者不收敛。对于外部流来说这一特点尤其突出，如果自由流的有效粘性系数具有非物理性的大值，边界层就会找不到了。

你可以在使用轮廓指定湍流量一节中描述的湍流指定方法，来输入同一数值取代轮廓。你也可以选择用更为方便的量来指定湍流量，如湍流强度，湍流粘性比，水力直径以及湍流特征尺度，下面将会对这些内容作一详细叙述。

湍流强度 I 定义为相对于平均速度 u_avg 的脉动速度 u^'的均方根。

小于或等于 1%的湍流强度通常被认为低强度湍流，大于 10%被认为是高强度湍流。从外界，测量数据的入口边界，你可以很好的估计湍流强度。例如：如果你模拟风洞试验，自由流的湍流强度通常可以从风洞指标中得到。在现代低湍流风洞中自由流湍流强度通常低到 0.05%。.

对于内部流动，入口的湍流强度完全依赖于上游流动的历史，如果上游流动没有完全发展或者没有被扰动，你就可以使用低湍流强度。如果流动完全发展，湍流强度可能就达到了百分之几。完全发展的管流的核心的湍流强度可以用下面的经验公式计算：

$$I \equiv \frac{u'}{u_{avg}} \cong 0.16\left(\mathrm{Re}_{D_H}\right)^{-1/8}$$

例如，在雷诺数为 50000 是湍流强度为 4%

湍流尺度 l 是和携带湍流能量的大涡的尺度有关的物理量。在完全发展的管流中，l 被管道的尺寸所限制，因为大涡不能大于管道的尺寸。L 和管的物理尺寸之间的计算关系如下：

$$l = 0.07L$$

其中 L 为管道的相关尺寸。因子 0.07 是基于完全发展湍流流动混合长度的最大值的，对于非圆形截面的管道，你可以用水力学直径取代 L。

如果湍流的产生是由于管道中的障碍物等特征，你最好用该特征长度作为湍流长度 L 而不是用管道尺寸。

注意：公式 $l = 0.07L$ 并不是适用于所有的情况。它只是在大多数情况下得很好的近似。对于特定流动，选择 L 和 l 的原则如下：

- 对于完全发展的内部流动，选择强度和水力学直径指定方法，并在水力学直径流场中指定 L=D_H。
- 对于旋转叶片的下游流动，穿孔圆盘等，选择强度和水力学直径指定方法，并在水力学直径流场中指定流动的特征长度为 L
- 对于壁面限制的流动，入口流动包含了湍流边界层。选择湍流强度和长度尺度方法并使用边界层厚度 d_99 来计算湍流长度尺度 l，在湍流长度尺度流场中输入 l=0.4 d_99 这个值

湍流粘性比 m_t/m 直接与湍流雷诺数成比例(Re_t ?k^2/(e n))。Re_t 在高湍流数的边界层，剪切层和完全发展的管流中是较大的(100 到 1000)。然而，在大多数外流的自由流边界层中 m_t/m 相当的小。湍流参数的典型设定为 1 < m_t/m <10。

要根据湍流粘性比来指定量，你可以选择湍流粘性比（对于 Spalart-Allmaras 模型）或者强度和粘性比（对于 k-e 模型或者 RSM）。

推导湍流量的关系式

要获得更方便的湍流量的输运值，如：I, L,或者 m_t/m，你必须求助于经验公式，下面

是 FLUENT 中常用的几个有用的关系式。要获得修改的湍流粘性，它和湍流强度 I 长度尺度 l 有如下关系：

$$\tilde{v} = \sqrt{\frac{3}{2}} u_{avg} I l$$

在 Spalart-Allmaras 模型中，如果你要选择湍流强度和水力学直径来计算 l 可以从前面的公式中获得。
湍动能 k 和湍流强度 I 之间的关系为：

$$k = \frac{3}{2}\left(u_{avg} I\right)^2$$

其中 u_avg 为平均流动速度

除了为 k 和 e 指定具体的值之外，无论你是使用湍流强度和水力学直径，强度和长度尺度或者强度粘性比方法，你都要使用上述公式。

如果你知道湍流长度尺度 l 你可以使用下面的关系式：

$$\varepsilon = C_\mu^{\frac{3}{4}} \frac{k^{\frac{3}{2}}}{l}$$

其中 C_μ 是湍流模型中指定的经验常数（近似为 0.09），l 的公式在前面已经讨论了。

除了为 k 和 e 制定具体的值之外，无论你是使用湍流强度和水力学直径还是强度和长度尺度，你都要使用上述公式。
E 的值也可以用下式计算，它与湍流粘性比 m_t/m 以及 k 有关：

$$\varepsilon = \rho C_\mu \frac{k^2}{\mu}\left(\frac{\mu_t}{\mu}\right)^{-1}$$

其中 C_μ 是湍流模型中指定的经验常数（近似为 0.09）。

除了为 k 和 e 制定具体的值之外，无论你是使用湍流强度和水力学直径还是强度和长度尺度，你都要使用上述公式。

如果你是在模拟风洞条件，在风洞中模型被安装在网格和/或金属网格屏下游的测试段，你可以用下面的公式：

$$\varepsilon \approx \frac{\Delta k U_\infty}{L_\infty}$$

其中，Δk 是你希望的在穿过流场之后 k 的衰减(比方说 k 入口值的 10%)，U_∞ 自由流的速度

L_∞ 是流域内自由流的流向长度 Equation 9 是在高雷诺数各向同性湍流中观察到的幂率衰减的线性近似。它是基于衰减湍流中 k 的精确方程 U ?k/?x = - e.

如果你用这种方法估计 e，你也要用方程 7 检查结果的湍流粘性比 m_t/m，以保证它不是太大。

虽然这不是 FLUENT 内部使用的方法，但是你可以用它来推导 e 的常数自由流值，然后你可以用湍流指定方法下拉菜单中选择 K 和 Epsilon 直接指定。在这种情况下，你需要使用方程 3 从 I 来计算 k。

当使用 RSM 时，如果你不在雷诺应力指定方法的下拉列表中使用雷诺应力选项，明显的制定入口处的雷诺应力值，它们就会近似的由 k 的指定值来决定。湍流假定为各向同性，保证

$$\overline{u_i u_j} = 0$$

以及

$$\overline{u_\alpha u_\alpha} = \frac{2}{3}k$$

(下标 a 不求和).

如果你在雷诺应力指定方法下拉列表中选择 K 或者湍流强度，FLUENT 就会使用这种方法。

对大涡模拟（LES）指定入口湍流

大涡模拟模型一节中所描述的 LES 速度入口中指定的的湍流强度值，被用于随机扰动入口处速度场的瞬时速度。它并不指定被模拟的湍流量。正如大涡模拟模型中介绍的边界条件中所描述的，通过叠加每个速度分量的随机扰动来计算流动入口边界处的随机成分.

壁面边界条件

壁面边界条件用于限制流体和固体区域。在粘性流动中，壁面处默认为非滑移边界条件，但是你也可以根据壁面边界区域的平动或者转动来指定切向速度分量，或者通过指定剪切来模拟滑移壁面(你也可以在 FLUENT 中用对称边界类型来模拟滑移壁面，但是使用对称边界就需要在所有的方程中应用对称条件。详情请参阅对称边界条件一节)。

在当地流场的详细资料基础上可以计算出流体和壁面之间的剪应力和热传导。

壁面边界的输入

概述

壁面边界条件需要输入下列信息：

- 热边界条件（对于热传导计算）
- 速度边界条件（对于移动或旋转壁面）
- 剪切（对于滑移壁面，此项可选可不选）
- 壁面粗糙程度（对于湍流，此项可选可不选）
- 组分边界条件（对于组分计算）
- 化学反应边界条件（对于壁面反应）
- 辐射边界条件(对于 P-1 模型、DTRM 或者 DO 模型的计算)
- 离散相边界条件（对于离散相计算）

在壁面处定义热边界条件

如果你在解能量方程，你就需要在壁面边界处定义热边界条件。在 FLUENT 中有五种类型的热边界条件：

- 固定热流量
- 固定温度
- 对流热传导

- 外部辐射热传导
- 外部辐射热传导和对流热传导的结合

如果壁面区域是双边壁面（在两个区域之间形成界面的壁面，如共轭热传导问题中的流/固界面）就可以得到这些热条件的子集，但是你也可以选择壁面的两边是否耦合。详情请参阅在壁面处定义热边界条件。

下面各节介绍了每一类型的热条件的输入。如果壁面具有非零厚度，你还应该设定壁面处薄壁面热阻和热生成的相关参数，详情请参阅在壁面处定义热边界条件。

热边界条件由壁面面板输入（Figure 1），它是从边界条件打开的（见设定边界条件一节）。

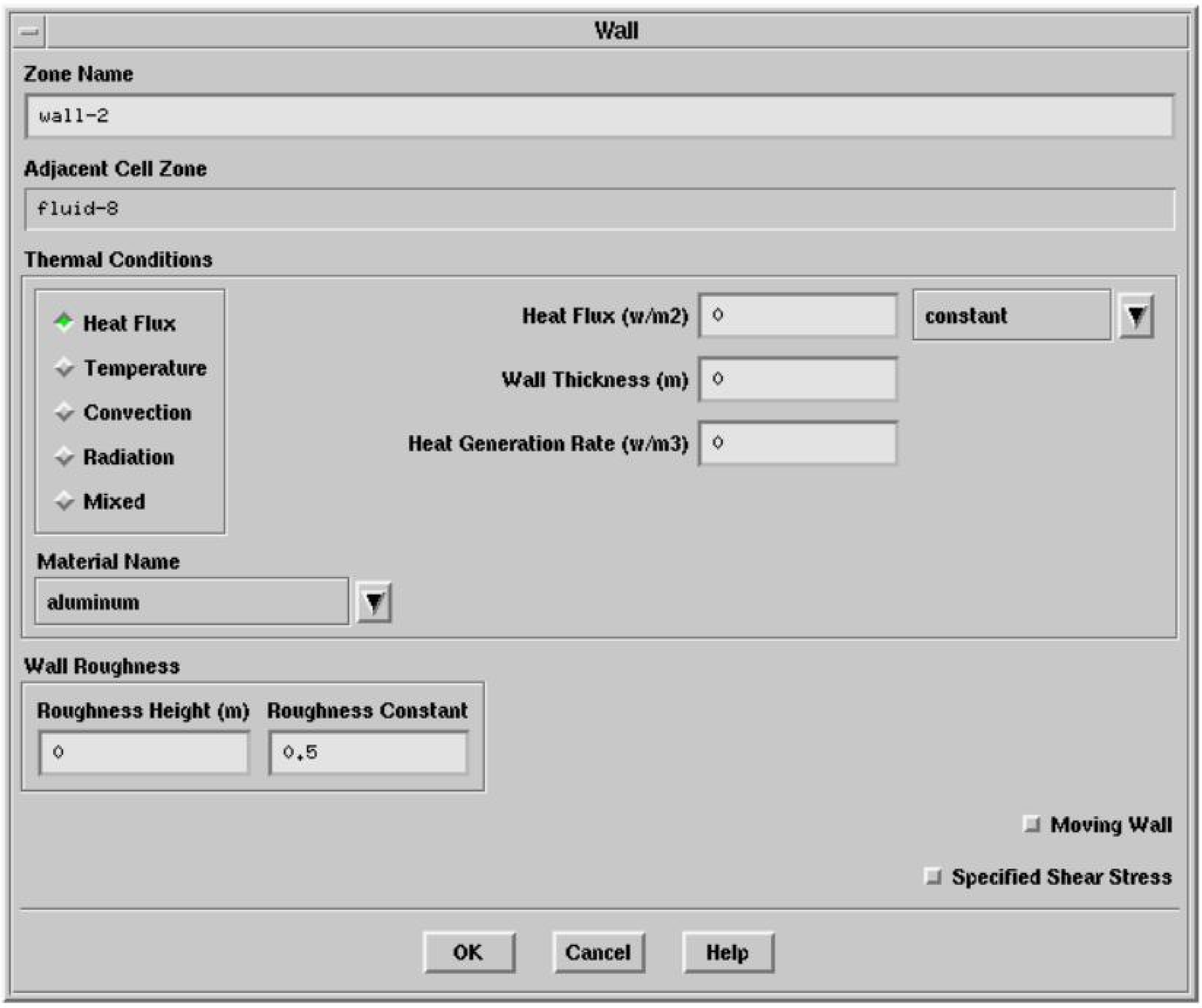


Figure 1:壁面面板

对于固定热流量条件，在热条件选项中选择热流量。然后你就可以在热流量框中设定壁面处热流量的适当数值。设定零热流量条件就定义了绝热壁，这是壁面的默认条件。

选择固定温度条件，在壁面面板中的热条件选项中选择温度选项。你需要指定壁面表面的温度。壁面的热传导可以用温度边界条件一节中的方程 1 或 3 来计算。

对于对流热传导壁面，在热条件中选择对流。输入热传导系数以及自有流温度，FLUENT 就会用对流热传导边界条件中的方程 1 来计算壁面的热传导。

如果你所模拟的是从外界而来的辐射热传导，你可以在壁面面板中激活辐射选项，然后设定外部发射率以及外部辐射温度。

如果选择混合选项，你就可以选择对流和辐射结合的热条件。对于这种条件，你需要设定热传导系数、自由流温度、外部发射率以及外部辐射温度。

默认情况下壁面厚度为零。然而你可以结合任何的热条件来模拟两个区域之间材料的薄

层。例如：你可以模拟两个流体区域之间的薄金属片的影响，固体区域上的薄层或者两个固体区域之间的接触阻力。FLUENT 会解一维热传导方程来计算壁面所提供的热阻以及壁面内部的热生成。

在热传导计算中要包括这些影响，你就需要指定材料的类型，壁面的厚度以及壁面的热生成速度。在材料名字下拉菜单中选择材料类型，然后在壁面厚度框中指定厚度。壁面的热阻为 D x/k，其中 k 是壁面材料的热传导系数，D x 是壁面厚度。你所设定的热边界条件将在薄壁面的外部指定，如图 2 所示，其中 T_b 壁面处所指定的固定温度。

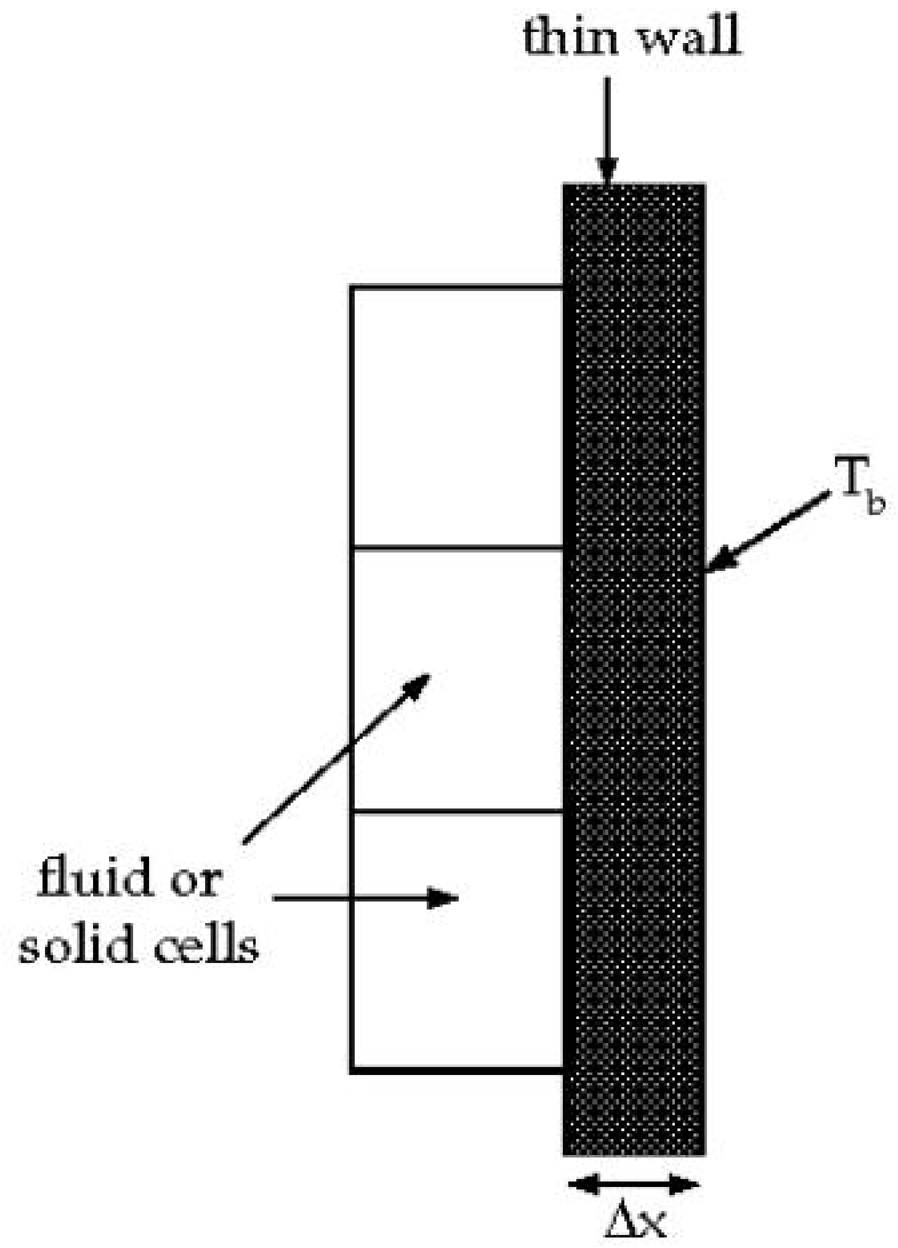


Figure 2: 热条件被指定在薄壁面的外侧

在热生成速度框中指定壁面内部热生成速度。这一选项是非常有用的，比方说，模拟已知电能分布的印刷电路板。

如果壁面区域的每一边是流体或者固体区域。当你具有这类壁面区域的网格读入到 FLUENT，一个阴影区域会自动产生，以便于壁面的每一边都是清楚的壁面区域。在壁面区域面板中，阴影区域的名字将在阴影表面区域框中显示出来。你可以选择在每一个区域指定不同的热条件或者将两个区域耦合：

- 要耦合壁面的两个边，在热条件选项中选择耦合选项(只有壁面是双边时这一选项才会出现在壁面面板中)。不需要输入任何附加的热边界信息，因为解算器会直接从相邻单元的解中计算出热传导。然而你可以指定材料类型、壁面厚度以及热生成速度来计算壁面热阻，详情请参阅壁面处热边界条件的定义一节。注意，你所设定的壁面每一边的阻抗参数会自动分配给它的阴影壁面区域。指定壁面内的热生成速度是很有用的，比如，模拟已知电能分布但是不知道热流量或者壁面温度的印刷电路板。
- 要解耦壁面的两个边，并为每一个边指定不同的热条件，在热条件类型中选择温度或者热流作为热条件类型(对于双边壁面，不应用对流和热辐射)。壁面和它的阴影之间的关系会被保留，以便于你在以后可以再次耦合它们。你需要设定所选的热条件的相关参数，前面对这方面的内容已经叙述过了不再重复。两个非耦合壁面具有不同的厚度，并且相互之间有效地绝缘。如果对于非耦合壁面指定非零厚度的壁面，你所设定的热边界条件就会在两个薄壁的外边的那个边指定，如图 3 所示，其中 T_b1 和 T_b2 分别是两个壁面的温度或者热流量。k_w1 和 k_w2 时耦合薄壁面的热传导率。注意图 3 中两个壁面之间的缺口并不是模型的一部分，它只是在图形中用来表明每一个非耦合壁面的热边界

条件在哪里应用。

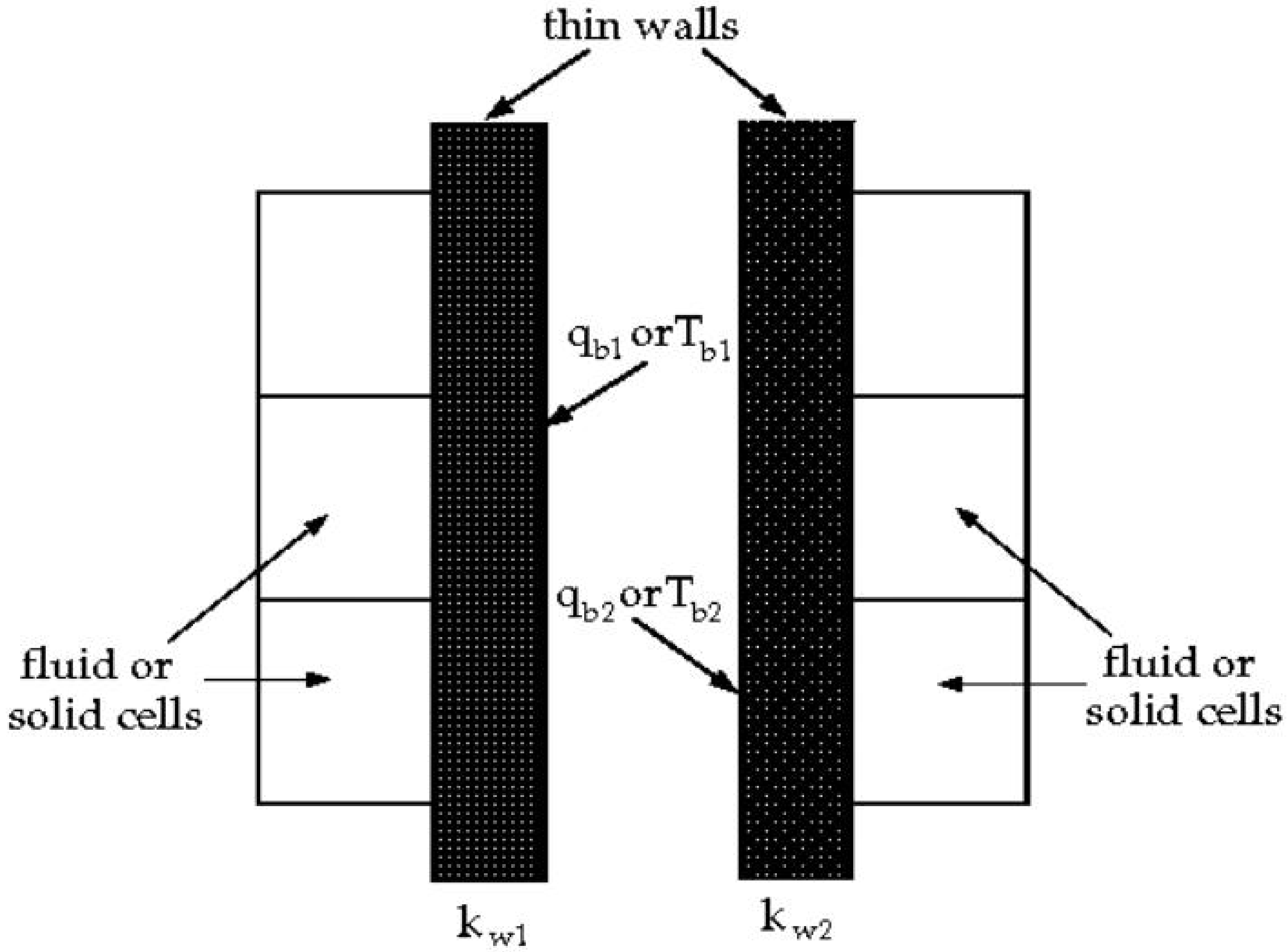


Figure 3: 热条件在非耦合薄壁的外边指定

对移动壁面定义速度条件

如果你希望在计算中包括壁面的切向运动，你就需要定义平动或者转动速度。壁面速度条件在壁面面板的运动部分输入，在这里你可以激活面板底部的移动壁面选项来显示和编辑，此时壁面面板会扩大显示为下图：

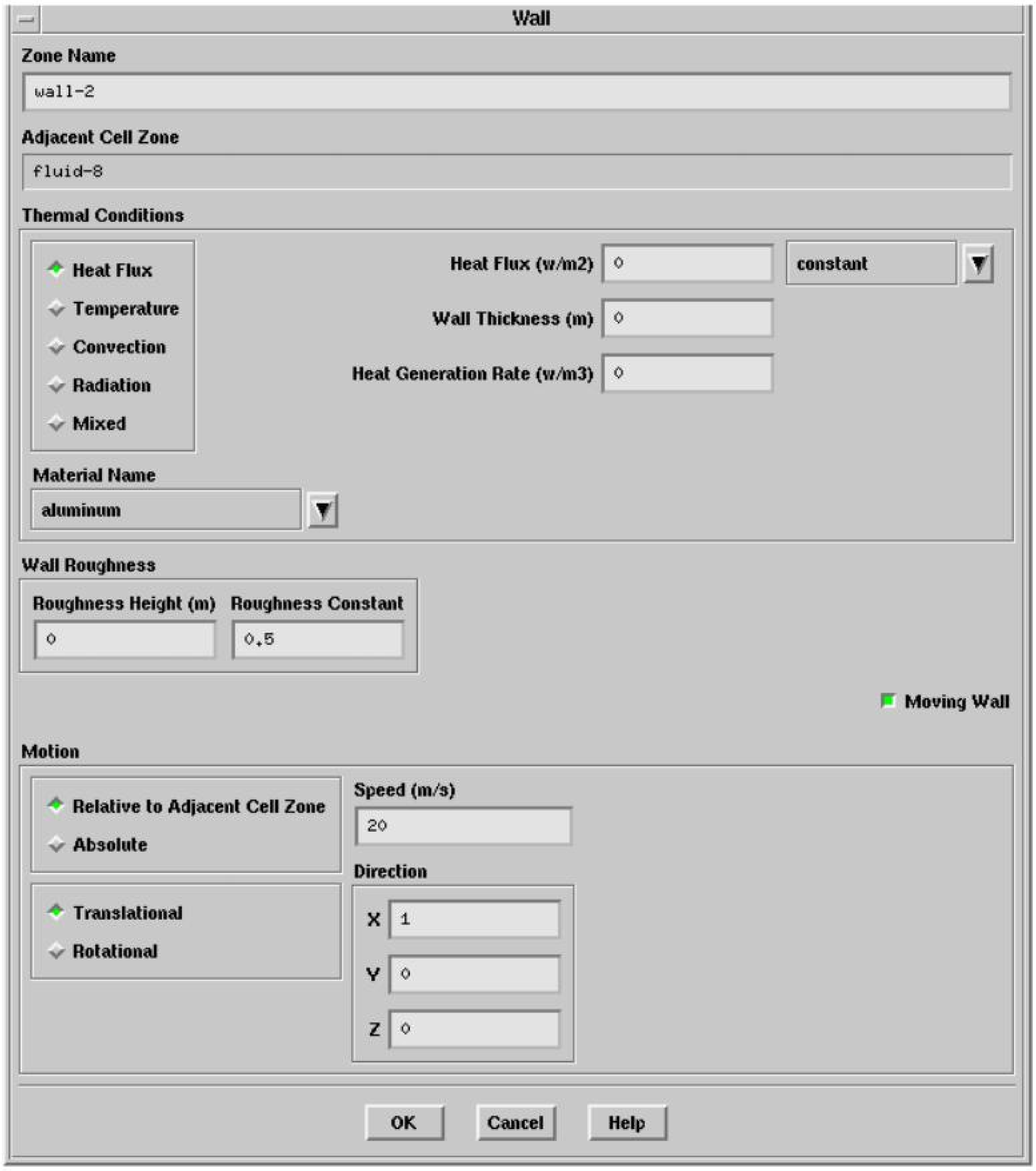


Figure 1: 移动壁面的壁面面板

如果邻近壁面的单元区域是移动的，（比如你使用移动参考系或者滑动网格）你可以激活相对邻近单元区域选项来选择指定的相对移动区域的移动速度。如果指定相对速度，那么相对速度为零意味着在相对坐标系中壁面是静止的，因此在绝对坐标系中以相对于邻近单元的速度运行。如果选择绝对速度（激活绝对选项），速度为零就意味着避免在绝对坐标系中是静止的，而且以相对于邻近单元的速度以动，但是在相对坐标系中方向相反。

如果你使用一个或多个移动参考系、滑动网格或者混合平面，并且你希望壁面固定在移动参考系上。推荐你指定相对速度（默认）而不是绝对速度。然后，如果你修改邻近单元区域的速度，就像你指定绝对速度一样，你就不需要对壁面速度做任何改变。

注意：如果邻近单元不是移动的那么它和相对选项是等同的。

对于包括线性，壁面边界是平动的问题（如以移动带作为壁面的矩形导管），你可以激活平动选项，并指定壁面速度和方向(X,Y,Z 矢量)。作为默认值，通过指定平动速度为零，壁面移动是未被激活的。

对于包括转动壁面运动的问题，你可以激活转动选项，并对指定的旋转轴定义旋转速度。要定义轴，请设定旋转轴方向和和旋转轴原点。这一轴和邻近单元区域所使用的旋转轴是无

关的，而且和其它的壁面旋转轴无关。对于三维问题旋转轴是通过指定坐标原点的矢量，它平行于在旋转轴方向框中指定的从(0,0,0)到(X,Y,Z)的矢量。对于二维问题，你只需要指定旋转轴起点，旋转轴是通过指定点的 z 向矢量。对于二维轴对称问题，你不必定义旋转轴：通常是绕 x 轴旋转，起点为(0,0)。

需要注意的是，只有在壁面限制表面的旋转时，模拟切向旋转运动才是正确的(比如圆环或者圆柱)。还要注意只有对静止参考系内的壁面才能指定旋转运动。

如定义壁面处热边界条件所讨论的，当你读入具有双边壁面的网格时（它在流/固区域形成界面），会自动形成阴影区域来区分壁面区域的每一边。对于双边壁面，壁面和阴影区域可能指定不同的运动，而不管它们耦合与否。然而需要注意的是，你不能指定邻近固体区域的壁面（或阴影）的运动。

模拟滑移壁面

作为默认，无粘流动的壁面是非滑移条件，但是在 FLUENT 中，你可以指定零或非零剪切来模拟滑移壁面。要指定剪切，在壁面面板中选择指定剪切应力项（见下图），然后你可以在剪切应力项中输入剪切的 x, y, 和 z 分量指定剪切应力选项不是用壁面函数。

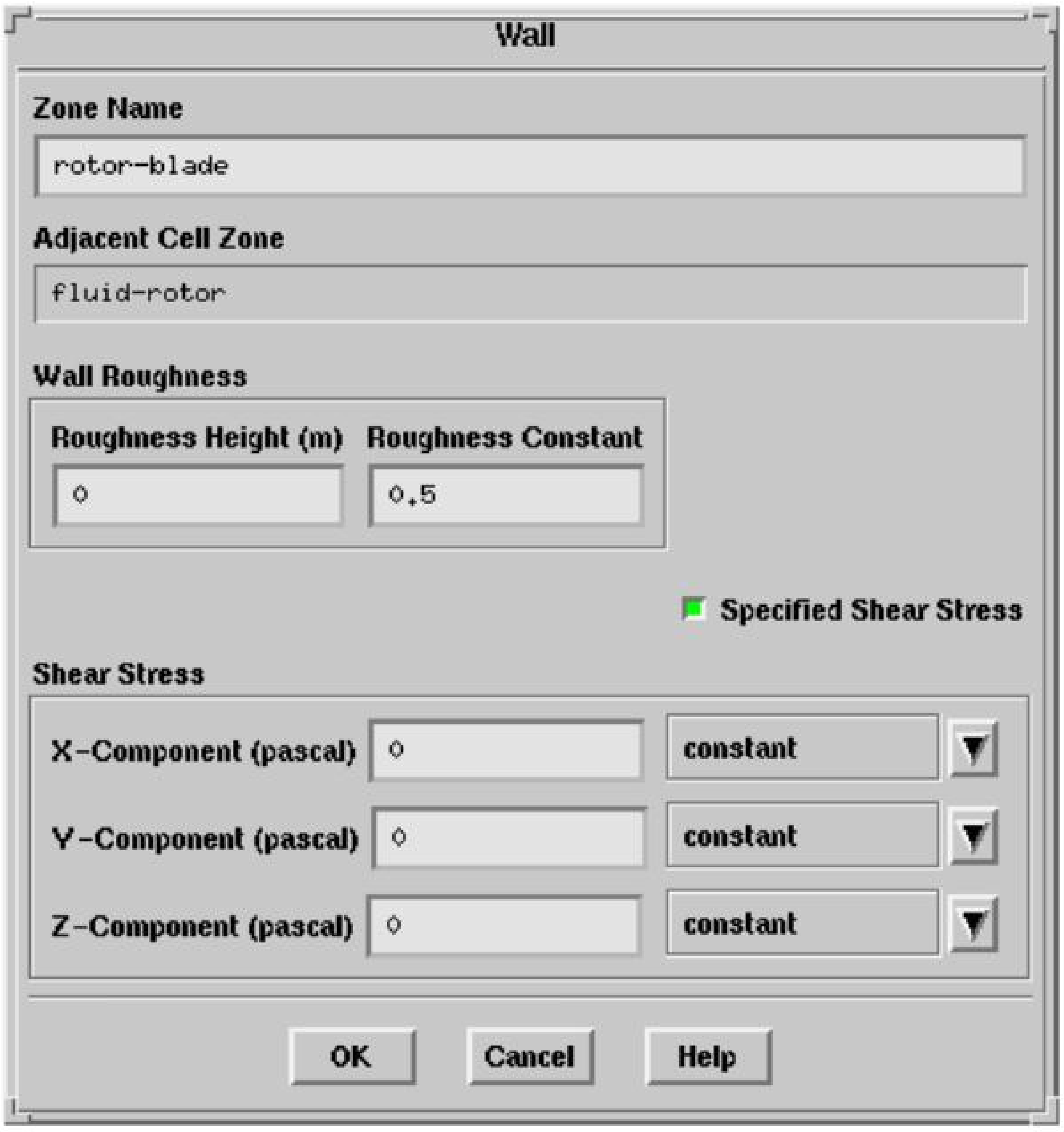


Figure 1: 滑移壁面的壁面面板

在湍流壁面限制的流动中模拟壁面粗糙度的影响

流过粗糙表面的流体会有各种各样的情况。比如流过机翼表面、船体、涡轮机、换热器以及管系统的流动，还有具有各种粗糙度的地面上的大气边界层。壁面粗糙度影响了壁面处的阻力、热传导和质量输运。

如果你是在模拟具有壁面限制的湍流流动，壁面粗糙度的影响是很大的，你可以通过修改壁面定律的粗糙度来考虑避免粗糙度影响。

粗糙管和隧道的实验表明了当用半对数规则画图时，近粗糙壁面的平均速度分布具有相同的坡度(1/k)但是具有不同的截止点(在对数定律中附加了常数 B)。对于粗糙壁面，平均速度的壁面定律具有的形式为：

$$\frac{u_p u^*}{\tau_w/\rho} = \frac{1}{\tau}\ln\left(E\frac{\rho u^* y_p}{\mu}\right) - \Delta B$$

其中 u^* = C_m^1/4k^1/2； ΔB 是粗糙度函数，它衡量了由于粗糙影响而导致的截止点的转移。一般说来，ΔB 依赖于粗糙的类型(相同的沙子、铆钉、螺纹、肋、铁丝网等)和尺寸。对于各种类型的粗糙情况没有统一而有效的公式。然而，对于沙粒粗糙情况和各种类型的统一粗糙单元，人们发现 ΔB 和无量纲高度 K_s ^+ = r K_s u^*/m 具有很好的相关性，其中 K_s 是物理粗糙高度 u^* = C_m^1/4k^1/2。实验数据分析表明粗糙函数 ΔB 并不是 K_s^+ 的单值函数，而是依赖于 K_s^+的值有不同的形式。观察表明有三种不同的类型：

- 液体动力光滑(K_s^+ < 3 ~ 5)
- 过渡区(3 ~ 5 < K_s^+ < 70 ~ 90)
- 完全粗糙(K_s^+ > 70 ~ 90)

根据上述数据，在光滑区域内粗糙度的影响可以忽略，但是在过渡区域就越来越重要了，在完全粗糙区域具有完全的影响。

在 FLUENT 中，整个粗糙区域分为三个区域。粗糙函数 ΔB 的计算源于 Nikuradse's 数据[27]基础上的由 Cebeci 和 Bradshaw 提出的公式：

对于液体动力光滑区域(K_s^+ < 2.25)：

$$\Delta B = 0$$

对于过渡区(2.25 < K_s^+ < 90)：

$$\Delta B = \frac{1}{\kappa}\ln\left[\frac{K_s^+ - 2.25}{87.25} + C_{K_s} K_s^+\right] \times \sin\left\{0.4258\left(\ln K_s^+ - 0.811\right)\right\}$$

其中 C_K_s 为粗糙常数，依赖于粗糙的类型。

在完全粗糙区域(K_s^+ > 90)：

$$\Delta B = \frac{1}{\kappa}\ln\left(1 + C_{K_s} K_s^+\right)$$

在解算器中，给定粗糙参数之后，粗糙函数 ΔB (K_s^+)用相应的公式计算出来。方程 1 中的修改之后的壁面定律被用于估计壁面处的剪应力以及其它的对于平均温度和湍流量的壁面函数。

要模拟壁面粗糙的影响，你必须指定两个参数：粗糙高度 K_s 和粗糙常数 C_K_s。默认的粗糙高度为零，这符合光滑壁面。对于产生影响的粗糙度，你必须指定非零的 K_s。对于同沙粒粗糙情况，沙粒的高度可以简单的被看作 K_s。然而，对于非同一沙粒平均直径(D_50)应该是最有意义的粗糙高度。对于其它类型的粗糙情况，需要用同等意义上的沙粒粗糙高度 K_s。

适当的粗糙常数(C_K_s)主要由给定的粗糙情况决定。默认的粗糙常数(C_K_s = 0.5)是用来满足在使用 k-e 湍流模型时，它可以在具有同一沙粒粗糙的充满流体的管中再现 Nikuradse's 阻力数据。当你模拟和同一沙粒粗糙不同的情况时，你就需要调解粗糙常数了。例如，有些实验数据表明，对于非同一沙粒、肋和铁丝网，粗糙常数(C_K_s = 0.5 ~ 1.0)具有更高的值。不幸的是，对于任意类型的粗糙情况还没有一个清楚的选择粗糙常数 C_K_s 的指导方针。需要注意的是，要求邻近壁面单元应该小于粗糙高度并不是物理意义上的问题。对于最好的结果来说，要保证从壁面到质心的距离要比 K_s 大。

定义壁面的组分边界条件

FLUENT 默认所有的组分在壁面处具有零梯度条件（除了参加表面化学反应的组分），但是可以指定壁面处的组分质量分数。也就是如同在入口处指定的 Dirichlet 边界条件，也可以用于壁面。
如果你希望保留默认的零梯度条件，你就不必输入任何东西了。如果你希望指定壁面处的组分质量分数，步骤如下：
1. 在壁面面板的组分边界条件中，选择组分名字右边的下拉列表指定的质量分数（而不是零梯度），此时面板会扩展为包含组分质量分数的对话框。

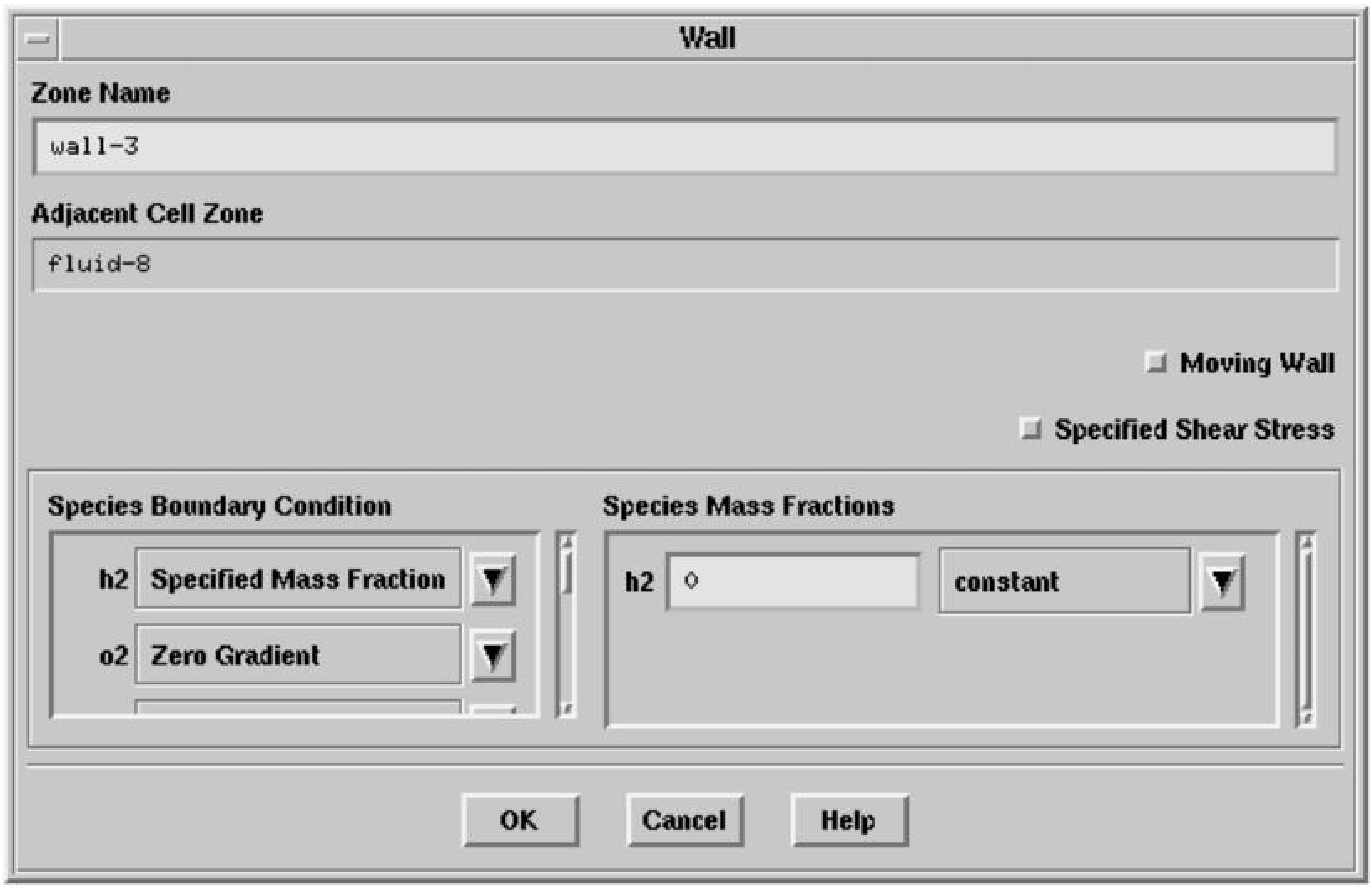


Figure 1: 组分边界条件输入的壁面面板
2. 输入相应的组分质量分数。
每一组分的边界条件类型是分别指定的，所以对于不同的组分你可以采用不同的方法。
注意：如果在湍流流动中你使用组分的 Dirichle 条件，FLUENT 就不会是用壁面函数来计算壁面处的组分扩散流量。

定义壁面的反应边界条件

如果你在组分模型面板中激活了表面反应的模拟，你就可以表明在壁面处表面反应是否被激

活。激活或关闭表面反应，壁面面板就会相应地打开或关闭表面反应选项。
注意：组分在壁面处是假定为零梯度条件的，它不参加任何表面反应。

定义壁面的辐射边界条件

如果你打算使用 P-1 辐射模型、DTRM 或者 DO 模型，你就需要设定壁面的（内部）发散率以及（可选）黑体温度。详情请参阅设定边界条件一节(Rosseland 不需要任何边界条件的输入，因为 FLUENT 假定发射率为 1，如果你使用 DO 模型你也要定义壁面为漫反射、镜面反射或者半透明，详情请参阅设定辐射边界条件)

定义壁面的离散相边界条件

如果你是在模拟粒子的离散相，你就可以在壁面处设定粒子轨道详情请参阅离散向模型的边界设定。

壁面边界的默认设定

默认热边界条件为固定的热流为零，壁面默认为不移动。

壁面处的剪应力计算程序

对于非滑移壁面条件，FLUENT 使用邻近壁面或者流体边界的流动性质来预测壁面处流体的剪应力。在层流流动制，这一计算简单地依赖于壁面处的速度梯度，在湍流流动中则使用壁面限制湍流流动的近壁面处理方法。
对于指定剪切的壁面， FLUENT 会在边界处计算切向速度。
如果是无粘流动，所有的壁面都使用滑移条件，所以它们是无摩擦的而且对邻近流体单元不施加剪应力。

层流中的剪应力计算
在层流流动中壁面剪应力和法向速度梯度的关系为：

$$\tau_w = \mu \frac{\partial v}{\partial n}$$

当壁面处的速度梯度很大时，你必须保证网格足够精细，这样才能解出边界层的精确结果。层流流动中近壁面节点放置的指导方针在节点密度和节点束中介绍。

湍流中的剪应力计算

湍流流动的壁面处理，在壁面限制的湍流流动的近壁面处理一节中叙述。

壁面边界的热传导计算

温度边界条件

当在壁面处应用固定温度条件，从流体单元到壁面的热传导，由下式计算：

$$q'' = h_f\left(T_w - T_f\right) + q''_{rad}$$

其中：

h_f =流体边界当地热传导系数

T_w =壁面表面温度

T_f =当地流体温度

q^"=壁面处传来的对流热流量

q^"_rad=辐射热流量

注意：流体边界热传导系数是基于当地流场条件计算得来的（比如说湍流层次、温度以及速度轮廓），请参阅流体边界热传导计算一节的方程 1，以及标准壁面函数 9。

从固体单元到壁面边界的热传导公式为：

$$q'' = \frac{k_n}{\Delta n}\left(T_w - T_s\right) + q''_{rad}$$

其中：

k_s =固体的热传导率

T_s =当地固体温度

D n =壁面表面和固体单元中心的距离。

热流边界条件

当你在壁面处定义热流边界条件时，你需要在壁面表面指定热流量。FLUENT 使用温度边界条件中的方程 1，然后你就可以输入热流量来确定邻近流体单元的壁面表面温度：

$$T_w = \frac{q'' - q''_{rad}}{h_f} + T_f$$

其中，流体边界热传导系数已经在温度边界条件中叙述了，它是基于当地流场条件计算得到的。当壁面和固体区域交界时，壁面表面的温度为：

$$T_w = \frac{\left(q'' - q''_{rad}\right)\Delta n}{k_n} + T_s$$

上述两式的变量请参阅温度边界条件一节。

对流热传导边界条件

当你在壁面处指定对流热传导系数作为边界条件时，FLUENT 使用你所输入的外部热传导系数以及外部热沉（heat sink）温度来计算到壁面的热流量：

$$q'' = h_f\left(T_w - T_s\right) + q''_{rad} = h_{ext}\left(T_{ext} - T_w\right)$$

其中：

h_ext =你所定义的外部热传导系数

T_ext =你所定义的外部热沉温度

q^"_rad =辐射热流量

上述方程假定壁面零厚度。

外部辐射边界条件

当使用外部辐射条件时，流入壁面的热流量为：

$$q'' = h_f (T_w - T_s) + q''_{rad} = \varepsilon_{est} (T_\infty^4 - T_w^4)$$

其中：

e_ext=你所定义的外部壁面表面的发射率

s=Stefan-Boltzmann 常数

T_w =壁面的表面温度

T_?=区域外部的温度的辐射源或者消失（sink）处

q^"_rad=从内部去向壁面辐射的热流量

Equation 1 假定壁面厚度为零。

外部对流和辐射结合的边界条件

当你选择组合的外部热传导方程条件时，到壁面的热流量为：

$$q'' = h_f (T_w - T_f) + q''_{rad} = h_{est} (T_{ext} - T_w) + \varepsilon_{ext} \sigma (T_\infty^4 - T_w^4)$$

其中的变量已经在对流热传导边界条件和外部辐射边界条件中定义了。Equation 1 假定壁面厚度为零。

流动边界热传导系数的计算

在层流流动中，壁面处流体边界热传导是用应用于壁面的 Fourier 定律计算得到的，FLUENT 使用它的离散格式为：

$$q'' = k_f \left. \frac{\partial T}{\partial n} \right|_{wall}$$

其中 n 是垂直于壁面的当地坐标。

对于湍流流动，FLUENT 对于从热和动量迁移中类比得到的温度使用壁面定律[93]。详细内容请参阅标准壁面函数。

对称边界条件

对称边界条件用于所计算的物理外形以及所期望的流动/热解具有镜像对称的特征的情况中。也可以用它们来模拟粘性流动的滑移壁面。本节描述了对称平面内流动的处理，并提供了一些使用对称边界的例子。在对称边界条件中你不需要定义任何边界条件，但是你必须谨慎地定义对称边界的位置。

在对称外形的中线处，你应该使用轴边界类型而不是对称边界类型，如轴边界条件一节中的的图 1，详细内容请参阅轴边界条件。

对称边界的计算程序

FLUENT 假定所有量通过对称边界的流量为零。经过对称平面的对流流量为零，因此对称边界的法向速度为零。通过对称平面没有扩散流量：因此所有流动变量的法向梯度在对称平面内为零。因此对称边界条件可以总结如下：

- 对称平面内法向速度为零
- 对称平面内所有变量的法向梯度为零

如上所述，对称的定义要求这些条件决定流过对称平面的流量为零。因为对称边界的剪应力为零，所以在粘性流动计算中它也可以用滑移壁面来解释。

周期性边界条件

周期性边界条件用来解决，物理模型和所期待的流动的流动/热解具有周期性重复的特点。FLUENT 提供了两种类型的周期性边界条件。第一种类型不允许通过周期性平面具有压降（对于 FLUENT4 用户来说：这一类型的周期性边界是指 FLUENT4 中的圆柱形边界）。第二种类型允许通过平移周期性边界具有压降，它是你能够模拟完全发展的周期性流动（在 FLUENT4 中是周期性边界）。

(对于耦合解算器，周期性面板中将会有附加的选项，这一选项允许你指定压力跳跃，详细内容请参阅周期性流动和热传导一节。)
如果区域是旋转性区域，请选择旋转性区域类型。如果是平移性就选择平移性区域类型。对于旋转性区域，解算器会自动计算通过周期性区域的旋转角度。旋转轴是为邻近单元指定的旋转轴。
注意：对于使用旋转周期性边界来说，你不必指定邻近单元区域为移动的。例如，你能够使用具有管的平切片的非旋转坐标系来模拟三维管流，管的切片需要具有旋转性周期。
你可以使用 Grid/Check 菜单选项（参阅检查网格一节）来计算和显示周期性边界所有表面的旋转角度的最大值、最小值和平均值。如果最大值、最小值和平均值之间的差别可以忽略 ，那么网格有一个问题：对于指定轴来说网格几何外形不是周期性的。

周期性边界的默认设定

默认为平移周期性边界条件

流体条件

流体区域是一组所有现行的方程都被解出的单元。对于流体区域只需要输入流体材料类型。你必须指明流体区域内包含哪种材料，以便于使用适当的材料属性。

如果你模拟组分输运或者燃烧，你就不必在这里选择材料属性，当你激活模型时，组分模型面板中会指定混合材料。相似地，对于多相流动你也不必指定材料属性，当你在多相流模型面板中激活模型时，你会选择它们。

定义流体材料

要定义流体区域内包含的材料，请在材料名字下拉列表中选择适当的选项。这一列表中会包含所有已经在使用材料面板中定义的流体材料（或者从材料数据库中加载）。
如果你模拟组分输运或者多相流，在流体面板的下拉列表中不会出现材料名。对于组分计算，所有流体区域的混合材料将会是你在组分模型面板中所指定的材料。对于多相流，所有流体

区域的材料将会是你在多相流模型面板中所指定的材料。

指定层流区域

如果你使用 k-e 模型或者 Spalart-Allmaras 模型来模拟湍流，在指定的流体区域关掉湍流模拟是可能的（即：使湍流生成和湍流粘性无效，但是湍流性质的输运仍然保持）。如果你知道在某一区域流动是层流这一功能是很有用的。比方说：如果你知道机翼上的转唳点的位置，你可以在层流单元区域边界和湍流区域边界创建一个层流/湍流过渡边界。这一功能允许你模拟机翼上的湍流过渡。要在流体区域内取消湍流模拟，请在流体面板中打开层流区域选项。

指定旋转轴

如果邻近流体区域存在旋转性周期边界，或者区域是旋转的，你必须指定旋转轴。要定义旋转轴，请设定旋转轴方向和起点。这个轴和任何邻近壁面区域或任何其它单元区域所使用的旋转轴是独立的。对于三维问题，旋转轴起点是从旋转轴起点中输入的起点，方向为旋转轴方向选项中输入的方向。对于二维非轴对称问题，你只需要指定旋转轴起点，方向就是通过指定点的 z 方向。（z 向是垂直于几何外形平面的，这样才能保证旋转出现在该平面内）。对于二维轴对称问题，你不必定义轴，旋转通常就是关于 x 轴的，起点为(0,0)。

固体条件

固体区域是仅用来解决热传导问题的一组区域。作为固体处理的材料可能事实上是流体，但是假定其中没有对流发生。固体区域仅需要输入材料类型。你必须表明固体区域包含哪种材料，以便于计算是使用适当的材料。可选择的输入允许你设定体积热生成速度（热源）。你也可以定义固体区域的运动。如果在邻近的固体单元内有旋转性周期边界，你就需要指定旋转轴。如果你模拟 DO 辐射模型，你可以指定固体材料是否参加辐射的计算。

定义流体材料

要定义固体区域内包含的材料，请在材料名字下拉列表中选择适当的选项。这一列表中会包含所有已经在使用材料面板中定义的固体材料（或者从材料数据库中加载）。

定义热源

如果你希望在固体区域内定义热源项，你可以激活源项选项来实现。详情请参阅定义质量、动量、能量和其它源项一节。

多孔介质模型的限制

如下面各节所述，多孔介质模型结合模型区域所具有的阻力的经验公式被定义为“多孔”。事实上多孔介质不过是在动量方程中具有了附加的动量损失而已。因此，下面模型的限制就可以很容易的理解了。

- 流体通过介质时不会加速，因为事实上出现的体积的阻塞并没有在模型中出现。这对于

过渡流是有很大的影响的，因为它意味着 FLUENT 不会正确的描述通过介质的过渡时间。

- 多孔介质对于湍流的影响只是近似的。详细内容可以参阅湍流多孔介质的处理一节。

多孔介质的有效传导率

多孔区域的有效热传导率 k_eff 是由流体的热传导率和固体的热传导率的体积平均值计算得到：

$$k_{eff} = \phi k_f + (1-\phi) k_s$$

其中：
f=介质的多孔性
k_f=流体状态热传导率（包括湍流的贡献 k_t）
k_s=固体介质热传导率
如果得不到简单的体积平均，可能是因为介质几何外形的影响。有效传导率可以用自定义函数来计算。然而，在所有的算例中，有效传导率被看成介质的各向同性性质。

模拟多孔介质流动时，对于问题设定需要的附加输入如下：

1. 定义多孔区域
2. 确定流过多孔区域的流体材料
3. 设定粘性系数（多孔介质动量方程 3 中的 1/a_ij）以及内部阻力系数（多孔介质动量方程 3 中的 C_2_ij），并定义应用它们的方向矢量。幂率模型的系数也可以选择指定。
4. 定义多孔介质包含的材料属性和多孔性
5. 设定多孔区域的固体部分的体积热生成速度（或任何其它源项，如质量、动量）（此项可选）。
6. 如果合适的话，限制多孔区域的湍流粘性。
7. 如果相关的话，指定旋转轴和/或区域运动。

在定义粘性和内部阻力系数中描述了决定阻力系数和/或渗透性的方法。如果你使用多孔动量源项的幂律近似，你需要输入多孔介质动量方程 5 中的 C_0 和 C_1 来取代阻力系数和流动方向。
在流体面板中（下图）你需要设定多孔介质的所有参数，该面板是从边界条件菜单中打开的（详细内容请参阅边界条件的设定一节）

使用幂律模型

对于多孔介质动量源项（多孔介质动量方程中的方程 5），如果你使用幂律模型近似，你只要在流体面板的幂律模型中输入系数 C_0 和 C_1 就可以了。如果 C_0 或 C_1 为非零值，解算器会忽略面板中除了多孔介质幂律模型之外的所有输入。

定义热传导

如果你选择在多孔介质中模拟热传导，你必须指定多孔介质中的材料以及多孔性。要定义多孔介质的材料，向下拉流体面板中阻力输入下面的滚动条，然后在多孔热传导的固体材料下拉列表中选中适当的固体。

然后在多孔热传导下设定多孔性。多孔性 f 是多孔介质中流体的体积分数（即介质的开放体积分数）。多孔性用于介质中的热传导预测，处理方法请参阅多孔介质能量方程的处理一节。它还对介质中的反应源项和体力的计算有影响。这个源项和介质中流体的体积成比例。如果你想要模拟完全开放的介质（固体介质没有影响），你应该设定多孔性为 1.0。当多孔性为 1.0 时，介质的固体部分对于热传导和（或）热源项/反应源项没有影响。注意：多孔性永远不会影响介质中的流体速度，这已经在多孔介质的动量方程一节中介绍了。不管你将多孔性设定为何值，，FLUENT 所预测的速度都是介质中的表面速度。

定义源项

如果你想在多孔流动的能量方程中包括热的影响，请激活源项选项并设定非零的能量源项。FLUENT 会计算多孔区域所生成的能量，该能量为能量源项值乘以组成多孔区域的单元所有体积值。你也可以定义质量、动量、湍流、组分或者其它标量的源项，详细内容请参阅、质量、动量、能量和其它源项的定义。

多孔介质的解策略

一般说来，在模拟多孔介质时，你可以使用标准的解算步骤以及解参数的设置。然而你会发现如果多孔区域在流动方向上压降相当大（比如：渗透性 a 很低或者内部因子 C_2 很大）的话，解的收敛速度就会变慢。这就表明由于动量源项中出现了多孔介质的压降（方程的矩阵不再是对角占优了），收敛性问题就出现了。解决多孔介质区域收敛性差最好的补救办法就是对于通过介质的流向压降有一个很好初始预测。猜测的办法之一就是，在介质流体单元的上游或者下游补偿一个压力值，详细内容请参阅所选单元的补偿值一节。必须记住的是，当补偿压力时，你所输入的压力可以定义为解算器所使用的 gauge 压力（即在操作条件面板中定义的相对于操作压力的压力）。

另一个处理收敛性差的方法是临时取消多孔介质模型（在流体面板中关闭多孔区域）然后获取一个不受多孔区域影响的初始流场。取消多孔区域后，FLUENT 会将多孔区域处理为流体区域并按相应的流体区域来计算。一旦获取了初始解，或者计算很容易收敛，你就可以激活多孔模型继续计算包含多孔区域的流场(对于大阻力多孔介质不推荐使用该方法)。

对于高度各向异性的多孔介质，有时会造成收敛性的麻烦。对于这些问题你可以将多孔介质的各向异性系数（1/a_ij 和 C_2_i,j）限制在二阶或者三阶的量级。即使在某一方向上介质的阻力为无穷大，你也不需要将它设定超过初始流动方向上的 1000 倍。

定义质量、动量、能量和其它源项

定义源项的程序

标记的约定和单位

所有正的源项表示的是源，负的是汇。单位必须是国际标准单位：

定义源项的步骤

要为一个或更多的区域定义源项，请遵循如下步骤（记住使用 SI 单位）：

1. 在流体或者固体面板打开源项选项。
2. 设定适当的源项值，注意下面的注释：

- 要指定常数源项，在邻近源项框的下拉列表中选择（或者保持）常数，然后在框中输入常数值。
- 指定温度相关或者其它函数源项，你可以用边界轮廓（见边界轮廓一节），或者自定义函数（见自定义函数一节）。
- 记住你不应该只定义质量源项而不定义其它源项，请参阅定义质量、动量、能量和其它的源项一节。
- 因为你所指定的源项时提及源项，所以要确定源项的适当值，你要确定定义了源项的区域的单元的体积。要实现这一目标你可以为单元区域创建界面，然后使用等值线面板来显示问题中的区域的单元体积（在网格类别中）。

第 07 章 fluent 流体物性

使用材料面板中的 1 就会显示所使用的模型需要定义的物理性质。需要注意的是，如果你所定义的属性需要借能量方程（如理想气体定律的密度，粘性的温度相关轮廓），FLUENT 会自动去解能量方程。此时你就需要定义热边界条件和其它参数。

固体材料的物理属性

对于固体材料，我们只需要定义密度，热传导系数和比热容(除非你所模拟的是半透明介质，此时需要定义辐射性质。对于热传导系数你可以指定它们为常值，也可以指定为温度的函数或者自定义函数；对于比热容你可以指定为常值或者温度的函数；对于密度你可以指定为常值

如果你使用非耦合解算器，除非我们是在模拟非定常流或者运动的固体区域，否则对于固体材料我们可以不需定义其密度和比热容。对于定常流来说固体材料列表中也会出现比热容一项，但是该值只被用于焓的后处理程序中，计算时并不需要它

在解算器进程中，你目前的材料列表会包括一个单一的流体材料（空气）和单一的固体材料（铝）。如果你所解决的问题就是空气，你就可以是用默认值或者修改属性。如果流体是水，你可以从全局材料数据库中复制或者从新创建新的材料。如果是从数据库中复制的，你还可以修改所复制过来的材料的属性。

重命名已经存在的材料

每一个材料由名字和分子式（如果存在的话）定义。你可以改变材料名但是不能改变分子式，除非你创建新的材料。改变材料名字的步骤如下：

1. 在材料类型下拉列表中选择材料（流体、固体及其它）。
2. 在材料下拉列表中选择需要修改属性的材料。（列表名必须和第一步中所选的材料类型一致）。
3. 在面板顶部的名字框中输入新的名字。
4. 点击改变/创建按钮。会弹出一个问题对话框，询问你是否覆盖原来的材料。因为你只是简单的改变原来材料的名字所以你可以点击 Yes 覆盖掉。（如果你是创建新的材料，

你就需要点击 No，保留原来的材料）

要修改别的材料，遵循上面的步骤就行，只是要记住改变每一个材料名字之后点击改变/创建按钮。

使用温度相关函数定义属性

材料属性可以定义为温度相关函数，如：你可以定义温度的多项式、分段线性或者分段多项式函数：

多项式：

$$\phi(T) = A_1 + A_2 T + A_3 T^2 + \ldots$$

分段线性

$$\phi(T) = \phi_n + \frac{\phi_{n+1} - \phi_n}{T_{n+1} - T_n}(T - T_n)$$

其中：$1 \le n \le N$，N 为所分的段数。

分段多项式:

$$for \quad T_{\min,1} < T < T_{\max,1} : \phi(T) = A_1 + A_2 T + A_3 T^2 + \ldots$$

$$for \quad T_{\min,2} < T < T_{\max,2} : \phi(T) = B_1 + B_2 T + B_3 T^2 + \ldots$$

在上面的方程中，f 为属性。

注意：如果是温度的多项式函数或者分段多项式函数，其中的温度单位是 Kelvin 或者 Rankine。如果你使用 Celsius 或者 Kelvin 作为温度单位，相应的多项式系数也要根据 Kelvin 单位改变，如果使用 Fahrenheit 或者 Rankine 作为温度单位，相应的只要根据 Rankine 单位改变。

有一些属性有附加的函数，还有一些我们所用的只是这三个函数的子集。决定使用哪一个温度相关函数请参阅相关章节。

自定义材料数据库

材料数据库在 Path/Fluent.Inc/fluent5.x/cortex/lib/propdb.scm 文件中。其中 Path 是 FLUENT 安装目录，x 为相关版本，如 fluent5.0，x 就为 0。

如果你想将常用的材料增加到材料数据库，步骤如下：

1. 将上述目录的 propdb.scm 文件复制到当前的工作目录。
2. 使用文本编辑器，按照下面的格式增加其它材料。如果你所要定义的材料和已有的材料相似，你可能要复制已有的材料，然后改变它的名字。空气和铝的相关条目如下：

```
(air
  fluid
  (chemical-formula . #f)
  (density (constant . 1.225)
  (premixed-combustion 1.225 300))
  (specific-heat (constant . 1006.43))
  (thermal-conductivity (constant . 0.0242))
  (viscosity (constant . 1.7894e-05)
```

```
  (sutherland 1.7894e-05 273.11 110.56)
  (power-law 1.7894e-05 273.11 0.666))
  (molecular-weight (constant . 28.966))
)
(aluminum
  (solid)
  (chemical-formula . al)
  (density (constant . 2719))
  (specific-heat (constant . 871))
  (thermal-conductivity (constant . 202.4))
  (formation-entropy (constant . 164448.08))
)
```

当你在当前工作目录下的 FLUENT 进程中进行下一次加载材料数据库时。FLUENT 会加载你所修改的 propdb.scm 文件，而不是原来数据库的文件，此时你所定义的材料就会在数据库材料面板中可以得到了。

如果你想在其它情况下使用修改后的数据库，你可以将自定义的文件 propdb.scm 放到 cortex/lib 目录中，替换掉默认的数据库。在进行这项操作之前，你应该将原来的 propdb.scm 文件改个名字或者备份一下以便将来使用。

密度定义为温度的轮廓函数

如果你模拟包含热传导的问题，你可以定义密度为温度的函数，共有三种类型：
分段线性：

$$\rho(T)=\rho_n+\frac{\rho_{n+1}-\rho_n}{T_{n+1}-T_n}(T-T_n)$$

分段多项式：

$$for\quad T_{\min,1}<T<T_{\max,1}:\rho(T)=A_1+A_2T+A_3T^2+\ldots$$
$$for\quad T_{\min,2}<T<T_{\max,2}:\rho(T)=B_1+B_2T+B_3T^2+\ldots$$

多项式：

$$\rho(T)=A_1+A_2T+A_3T^2+\ldots$$

这些方法的输入，首先在密度右边的下拉菜单中选择分段线性、分段多项式或者多项式，其余操作请参阅前面所介绍的使用温度相关函数定义属性一节。

非牛顿流体的粘性

对于牛顿流来说，剪应力和剪切速度成比例：

$$\tau=\mu\dot{S}$$

其中：

$$\dot{S}=\frac{\partial u_i}{\partial x_j}+\frac{\partial u_j}{\partial x_i}$$

m 是粘性，它与 S(dot)无关。

对于非牛顿流来说，粘性是 S(dot)的函数，并由变量 h 所描述：

$$\tau = [\eta(\dot{S})]\dot{S}$$

FLUENT 提供了两种模拟非牛顿流的选项：

- 幂率
- 仿塑胶（pseudo-plastics）的 Carreau 模型。

需要注意的是，非牛顿流体的的粘性一节中的非粘性幂率和幂率粘性定律一节中的幂率是不同的。

对于这些模型的参数的输入，你可以查阅相关文献（如[161]）。

非牛顿流体粘性系数的幂律：

$$\tau = ke^{\frac{T_0}{T}}\dot{S}^n = \left(ke^{\frac{T_0}{T}}\dot{S}^{n-1}\right)\dot{S}$$

等价为：

$$\tau = ke^{\frac{T_0}{T}}\dot{S}^{n-1}$$

FLUENT 还允许你设置幂率函数的上下限，产生如下方程：

$$\eta_{\min} < \eta = ke^{\frac{T_0}{T}}\dot{S}^{n-1} < \mu_{\max}$$

其中 k，n，T_0，h_min 和 h_max 为输入参数。K 是流体（一致的指数）平均粘性的度量，n 是偏离牛顿流体的度量（幂率指数），具体请见下文，T_0 是参考温度，h_min 和 h_max 分别为幂率的下限和上限。如果从幂率模型计算出的粘性超出了上下限 h_max 和 h_min 会分别取代超出上限和下限的值。Figure 1 所示为低速或高速剪切流动中 h_min 和 h_max 是如何限制粘性的。

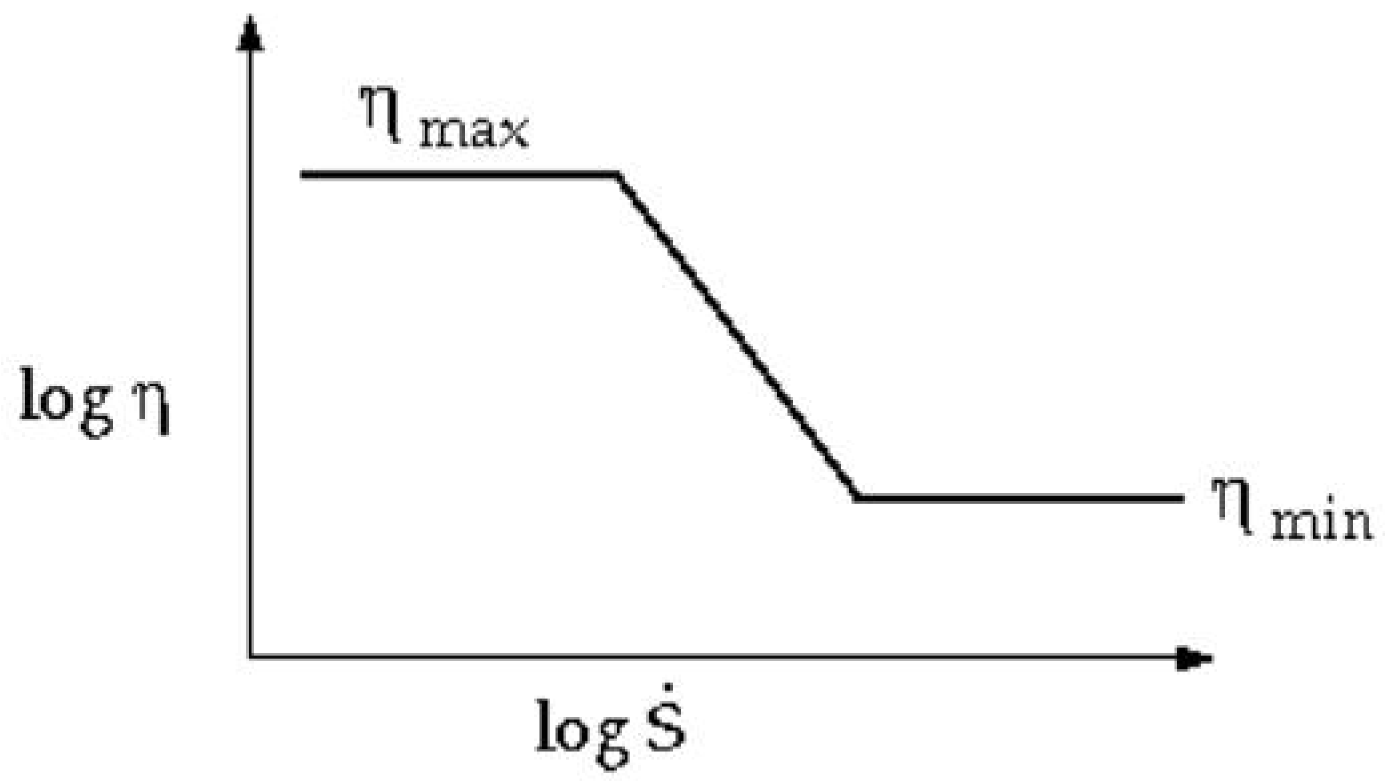


Figure 1: 根据牛顿幂率模型所得到的粘性和剪切速度变化关系

N 的值决定了流体的类别：

n = 1　　牛顿流体

n > 1　　剪切增厚过程（膨胀流体）

n < 1　　剪切变薄过程（仿塑胶流体）

要使用非牛顿幂率定率，请在粘性右边的下拉列表中选择非牛顿幂率。此时非牛顿幂率面板就会打开，你可以输入一致的指数 k，幂率指数 n，参考温度 T_0，最小粘性 h_min 以及最大粘性 h_max。

仿塑胶的 Carreau 模型

非牛顿粘性的幂率模型一节所描述的幂率模型给出粘性和剪切速度的变化关系为：

$$\tau = [\eta(\dot{S})]\dot{S} = \left(ke^{\frac{T_0}{T}}\dot{S}^{n-1}\right)\dot{S}$$

对于 $\dot{S} \to 0, \eta \to 0$ 以及 $\dot{S} \to \infty, \eta \to \infty$，其中 η_0 和 η_∞ 分别为流体粘性的上下限。

Carreau 模型尝试模拟大范围的流体流动，它使用曲线拟和将牛顿流体和剪切变薄(n < 1)非牛顿流体定律整合在一起。在该模型中，粘性为：

$$\eta = \eta_\infty + (\eta_0 - \eta_\infty)\left[1 + \left(\lambda e^{\frac{T_0}{T}}\dot{S}\right)^2\right]^{(n-1)/2}$$

其中参数 n，l，T_0，η_0，和 η_∞ 和流体有关。L 是时间常数，n 是幂率指数（请参阅非牛顿粘性的幂率一节所述的内容），T_0 为参考温度，η_0 和 η_∞ 分别为 0 和无穷剪切粘性。下图所示为在低和高剪切速度情况下粘性如何被 η_0 与 η_∞ 所限制：

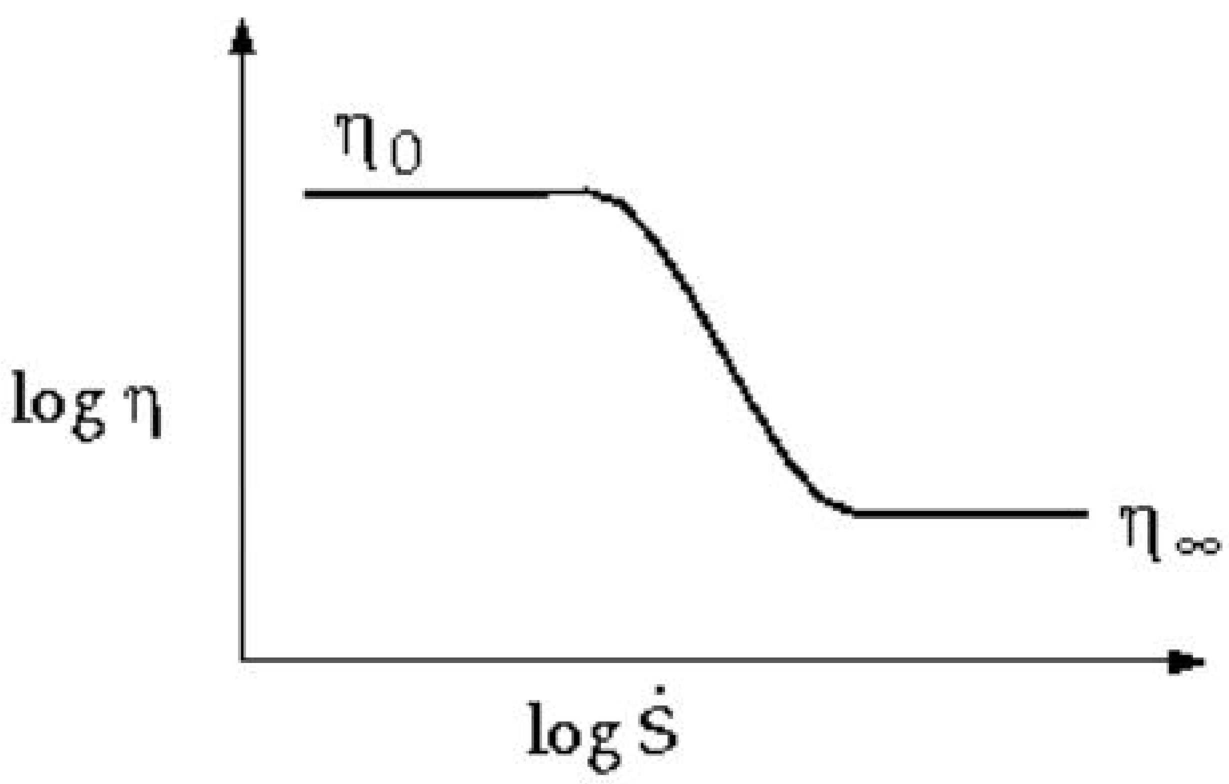


Figure 1: Carreau 模型中粘性和剪切速度的变化关系

要使用 Carreau 模型，在粘性右边的下拉列表中选择 carreau。然后便可以打开 Carreau 模型面板，此时你就可以输入时间常数 l，幂率指数 n，参考温度 T_0，零剪切粘性 η_0 以及无穷剪切粘性 η_∞。

当考虑热传导时，必须定义热传导系数。模拟能量和粘性流动时你需要定义热传导系数。

FLUENT 提供了几种定义热传导系数的方法：

- 常数热传导系数
- 温度和/或组分相关热传导系数
- 分子运动论
- 自定义函数
- 各向异性/正交（只对固体材料）

本节详细地介绍了每一个选项的输入和控制模型(自定义函数将会在自定义函数一章介绍)。在所有的情况下你都要在使用材料面板一节中的 1 的热传导系数项中定义。菜单：Define/Materials...。

所定义的热传导系数国际标准单位是 W/m-K，英制单位是 BTU/hr-ft-R。

常数热传导系数的输入

如果要定义常数热传导系数请在使用材料面板一节中的 1 的热传导系数右边的列表中选择常数，然后输入热传导系数的值。

对于默认流体空气来说，其热传导系数默认为 0.0242 W/m-K。

作为温度函数的热传导系数

你还可以定义热传导系数为温度的函数，FLUENT 共提供了三种类型的函数：

- 分段线性

$$k(T) = k_n + \frac{k_{n+1} - k_n}{T_{n+1} - T_n}(T - T_n)$$

- 分段多项式

$$for \quad T_{\min,1} < T < T_{\max,1} : k(T) = A_1 + A_2 T + A_3 T^2 + \ldots$$

$$for \quad T_{\min,2} < T < T_{\max,2} : k(T) = B_1 + B_2 T + B_3 T^2 + \ldots$$

- 多项式

$$k(T) = A_1 + A_2 T + A_3 T^2 + \ldots$$

你可以输入数据对（T_n，k_n），范围和系数 A_i 与 B_i，或者在使用材料面板 1 中的这些函数的系数 A_i，详细内容清参阅使用温度相关函数定义属性一节。

使用分子运动论定义热传导系数

如果你使用气体定律（如密度一节所述），你可以用分子运动论定义热传导系数：

$$k = \frac{15}{4}\frac{R}{M}\mu\left[\frac{4}{15}\frac{c_p M}{R} + \frac{1}{3}\right]$$

其中 R 是普适气体常数，M 是分子量，m 所指定的或计算的材料的粘性，c_p 所指定的或计算得到的材料的热容。

要用这个方程来计算热传导系数请在使用材料面板一节中的 1 的热传导系数右边的下拉列

表中选择分子运动论。解算器就会使用上面的方程来计算热传导系数。

多组分混合物的组分相关热传导系数

如果所模拟的流动包含不止一种化学组分（多组分流动），你可以选择定义组分相关热传导系数。在这种情况下你还可以定义热传导系数为常数、温度的函数或者使用分子运动论来定义。

要定义某一混合物的组分相关热传导系数，步骤如下：

1. 对于混合材料，选择 mass-weighted-mixing-law，如果你使用理想气体定律，请在热传导系数右边的下拉列表中选择 ideal-gas-mixing-law。如果你使用 ideal-gas-mixing-law 计算混合物的热传导系数，你必须使用 ideal-gas-mixing-law 或者 mass-weighted-mixing-law 计算粘性，这是因为只有这两种方法计算出的粘性用于指定组分的粘性，这里的热传导系数正是组分的热传导系数。
2. 点击改变/创建按钮。
3. 为组成混合物的每一个材料定义热传导系数。你可以分别为每一个组分定义常数或者（需要的话）温度相关函数。你还可以使用分子运动论来定义每一组分的热传导系数

如果你使用理想气体定律，解算器会在分子运动论的基础上计算混合物的热传导系数：

$$k = \sum_{i'} \frac{X_{i'} k_{i'}}{\sum_{i'} X_{i'} \phi_{i'j'}}$$

其中：

$$\phi_{i'j'} = \frac{\left[1 + \left(\frac{\mu_{i'}}{\mu_{j'}}\right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{M_{j'}}{M_{i'}}\right)^{\frac{1}{4}}\right]^2}{\left[8\left(1 + \frac{M_{i'}}{M_{j'}}\right)\right]^{\frac{1}{2}}}$$

其中 X_i^'是组分 i^'的摩尔百分比。.

对于非理想气体，混合物的热传导系数是各组分的热传导系数的简单的质量平均：

$$k = \sum_{i'} m_{i'} k_{i'}$$

固体的各向异性热传导系数

FLUENT 中各向异性热传导系数选项解决固体的热传导方程时，所使用的热传导系数被指定为一个矩阵。热流量为：

$$q_i = -k_{ij} \frac{\partial T}{\partial x_j}$$

由两个选项：正交和一般各向异性。

需要注意的是，各向异性热传导系数只在分离结算器中使用，它不可以用在耦合解算器中。

正交各向异性热传导系数

当使用证交热传导系数时，需要指定主轴方向(e(hat)_x,e(hat)_h,e(hat)_z)上的热传导系数(k_x,k_h,k_z)。热传导矩阵由下式计算：

$$k_{ij} = k_{\xi} e_{\xi i} e_{\xi j} + k_{\eta} e_{\eta i} e_{\eta j} + k_{\zeta} e_{\zeta i} e_{j\zeta}$$

要定义正交热传导系数，请在材料面板中热传导系数右边的下拉列表中选择正交。然后打开正交热传导系数面板（如下图）

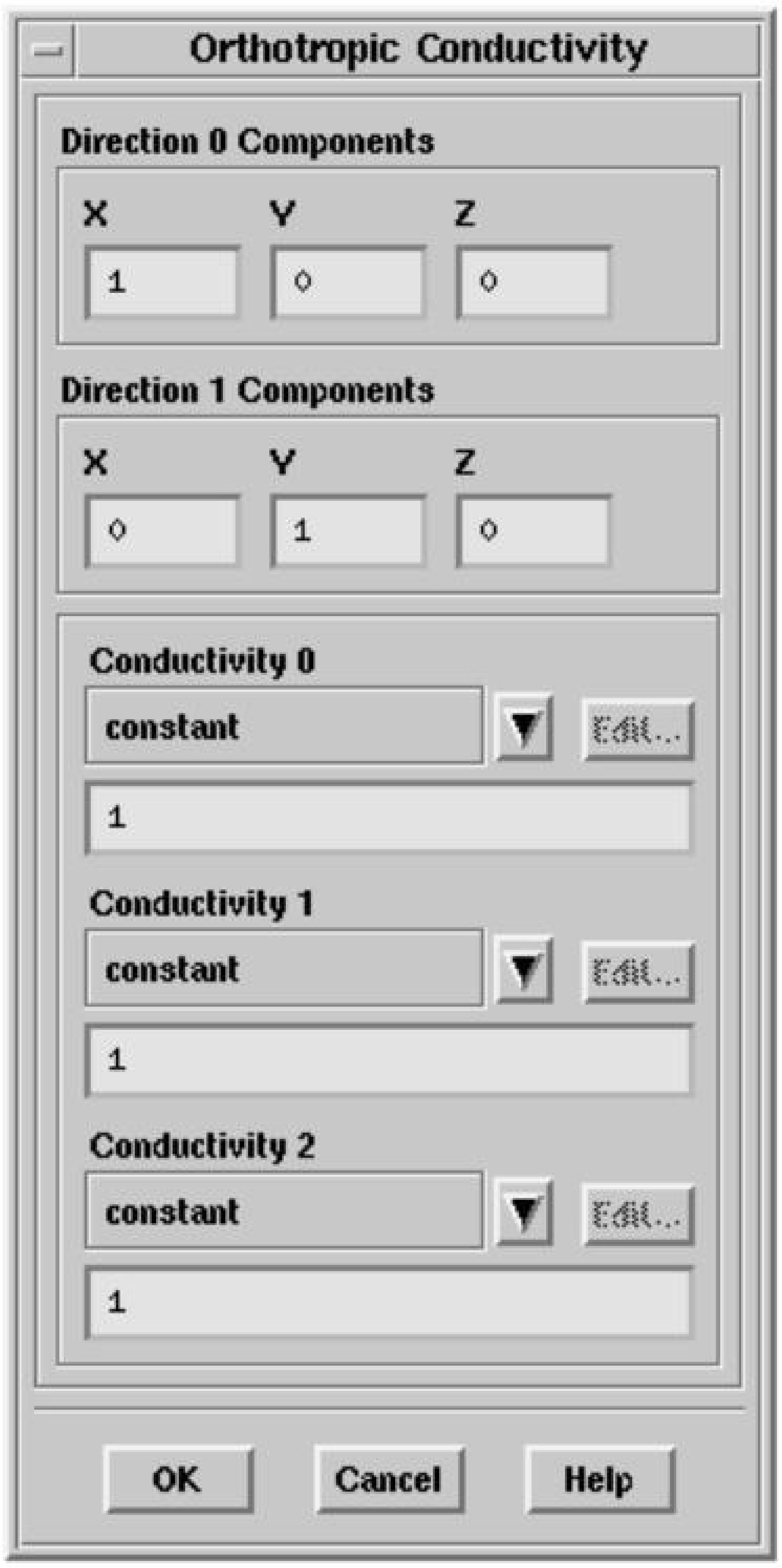


Figure 1:正交热传导系数面板

因为主轴方向(e(hat)_x,e(hat)_h, e(hat)_z)是相互正交的，所以对于三维问题只需要指定两个方向。e(hat)_x 在 0 方向上用 X，Y，Z 定义，e(hat)_h 在 1 方向上用 X，Y，Z 定义。你可以在每一个热传导系数下面的下拉列表中定义热传导系数 0(k_x)、(k_h)和 2 (k_z)为常数、温度的分段线性函数或者分段多项式函数。（详细内容请参阅常数热传导系数和温度相关热传导系数的输入的相关章节）。

对于二维问题，只需要指定函数(k_x,k_h)和单位矢量(e(hat)_x)。

一般的各项异性热传导系数

热传导矩阵由下式指定：

$$k_{ij} = k\hat{e}_{ij}$$

其中 k 是热传导系数，e(hat)_ij 是矩阵（对于二维问题是 2×2 的矩阵，对于三维问题是 3×3 的矩阵。

要定义一般的各向异性热传导系数，请在材料面板中的热传导系数右边的下拉列表中选择各向异性。此时会打开各向异性热传导面板（下图）。

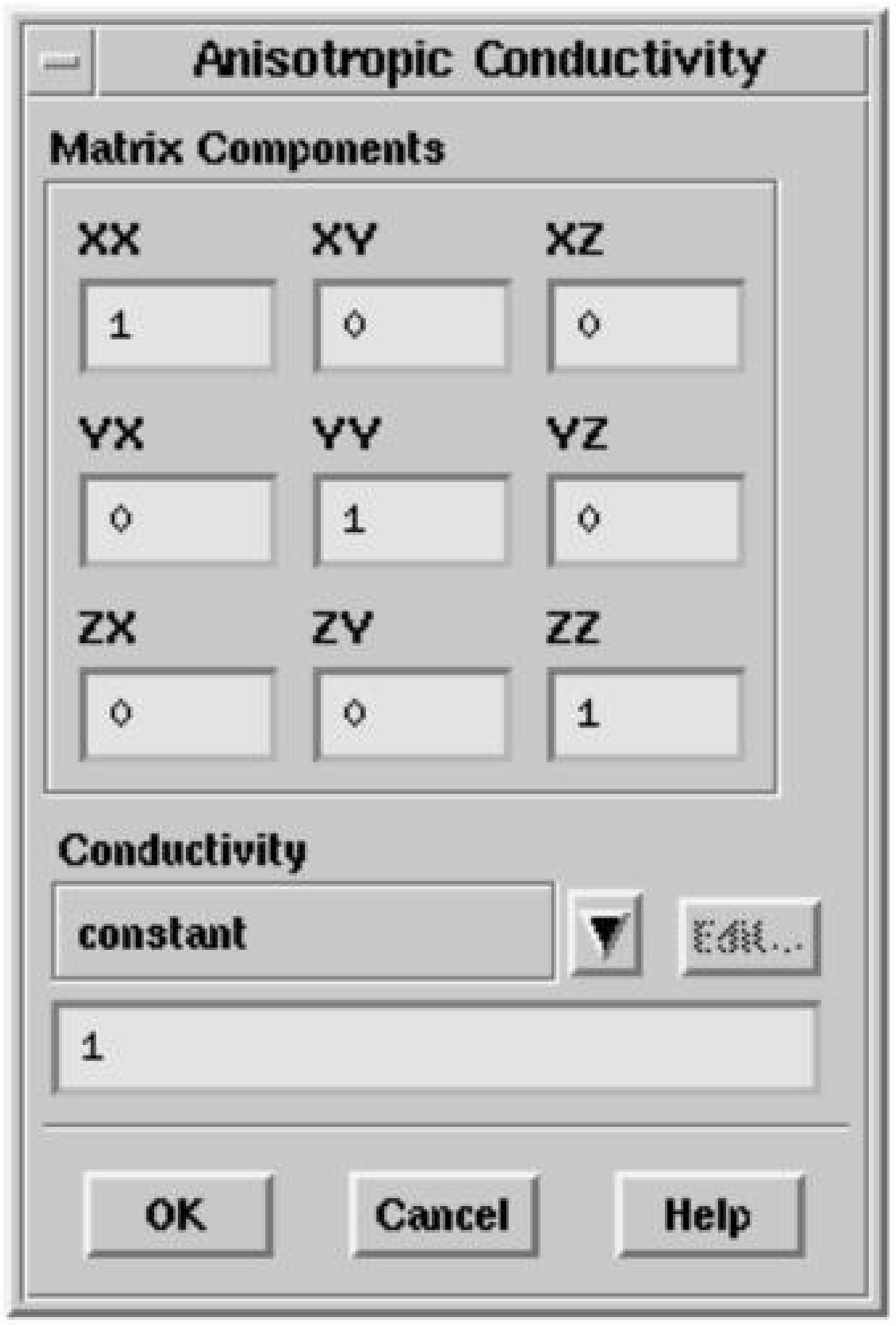


Figure 1:各向异性热传导面板

注意：e(hat)_ij 可以是非对称矩阵，你可以在各向异性热传导面板的矩阵分量中指定矩阵的各分量。K 可以指定为温度的函数或者其他常用的方法（常数、多项式、分段线性或分段多项式），这些都是从传导系数下面的下拉列表中选择得到的（详细内容请参阅常数热传导系数和温度相关热传导系数的输入的相关章节）　。

第 08 章　**fluent** 基本物理模型

热传导

FLUENT 允许在你模型的流体和/或固体区域包含热传导。本节中所介绍的物理模型和相关输入可以处理从流体内热混合到复合固体的热传导等问题。自然对流问题会在浮力驱动流动一节介绍，自然对流与辐射模型将在辐射模拟一节介绍

FLUENT 可以预测周期性几何外形的热传导，如密集的热交换器，它只需要考虑单个的周期性模块进行分析。关于这样流动的处理，需要使用周期性边界条件，具体可以参阅周期性流动和热传导一节。

在两个分离的流动区域解决热传导问题

如果所模拟的流动包括了两个流体区域，其中被固体区域或者壁面分离开，如下图所示，你需要更细心的定义问题。主要需要指定：

- 两个流体区域都不可以使用质量出口边界条件
- 每一个流体区域可以选择不同的流体材料。（然而对于组分计算，你只能在整个区域选择唯一一种混合材料）

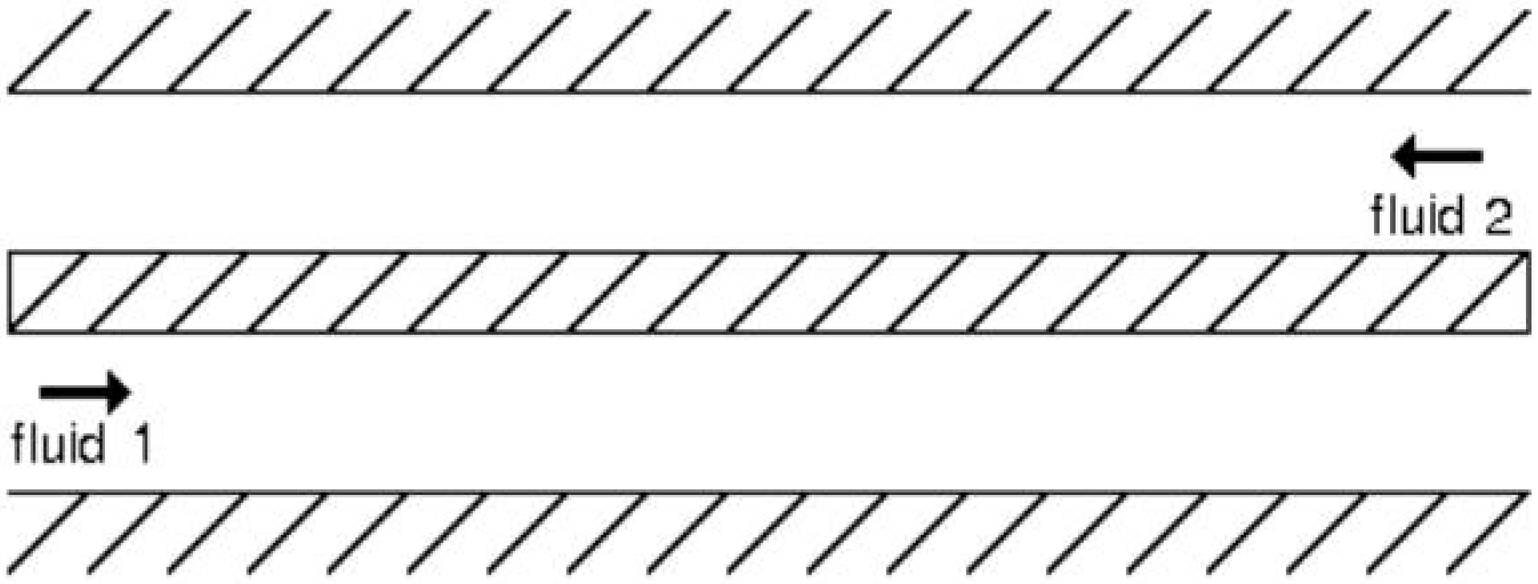


Figure 1:典型的逆流热交换，在两个流体区域包括了热传导

理论

能量方程

FLUENT 所解的能量方程的形式为

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho E)+\frac{\partial}{\partial x_i}\left(u_i(\rho E+p)\right)=\frac{\partial}{\partial x_i}\left(k_{eff}\frac{\partial T}{\partial x_i}-\sum_{j'}h_{j'}J_{j'}+u_j\left(\tau_{ij}\right)_{eff}\right)+S_h$$

其中 k_eff 是有效热传导系数（k + k_t,其中 k_t 是湍流热传导系数，根据所使用的湍流模型来定义），J_j^'是组分 j^'的扩散流量。上面方程右手边的前三项分别描述了热传导、组分扩散和粘性耗散带来的能量输运。S_h 包括了化学反应热以及其它用户定义的体积热源项。在上面的方程中：

$$E=h-\frac{p}{\rho}+\frac{u_i^2}{2}$$

其中，理想气体的显焓定义为：

$$h=\sum_{j'}m_{j'}h_{j'}$$

对于可压流为：

$$h=\sum_{j'}m_{j'}h_{j'}+\frac{p}{\rho}$$

在方程 5 和 7 中，m_j^'是组分 j^'的质量分数，而且

$$h_{j'}=\int_{T_{ref}}^{T}c_{p,j'}dT$$

其中 T_ref 为 298.15 K.

PDF 模型的能量方程

当激活非绝热 PDF 燃烧模型时，FLUENT 解总焓形式的能量方程：

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho H)+\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i H)=\frac{\partial}{\partial x_i}\left(\frac{k_i}{c_p}\frac{\partial H}{\partial x_i}\right)+\tau_{ik}\frac{\partial u_i}{\partial x_i}+S_h$$

假定 Lewis 数为 1，右手边第一项表示传导和组分扩散项。非守恒形式的粘性扩散项的贡献由第二项描述。总焓 H 定义为：

$$H=\sum_{j'} m_{j'} H_{j'}$$

其中 m_j^'为组分 j^'的质量分数，而且

$$H_{j'}=\int_{T_{ref,j'}}^{T} c_{p,j'}dT+h_{j'}^{0}\left(T_{ref,j'}\right)$$

$h_{j'}^{0}\left(T_{ref,j'}\right)$ 是在参考温度 T_ref,j^'下组分 j^' 的生成焓

包括压力作用和动能项

能量方程中的方程 1 包含了不可压流动中常常忽略的压力作用和动能项。因此，在默认的情况下，分离解算器在解不可压流动时不考虑压力作用和动能项。如果你希望考虑这些作用，可以使用 define/models/energy?文本命令将所需的项激活。

模拟可压流或者使用耦合解算器时，压力作用和动能项总是压考虑的。

包括粘性耗散项

能量方程中的方程 1 和 PDF 模型的能量方程中的方程 1 包括了粘性耗散项，该项所描述的是粘性剪切所产生的热能。使用分离解算器时，FLUENT 默认的能量方程不包括它（因为粘性热可以忽略）。当 Brinkman 数 Br 接近或者大于一，粘性热将会很重要。其中：

$$Br=\frac{\mu U_e^{2}}{k\Delta T}$$

D T 为系统温度的差分。

你需要考虑粘性耗散项并且使用分离解算器，你需要在粘性模型面板激活粘性热项。对于可压流动一般有 Br ≥1。但是需要注意的是，当使用分离解算器时，如果你定义了可压流动模型，FLUENT 并不自动激活粘性耗散项。

当使用耦合解算器时，所解的能量方程总会包含粘性耗散项。

包括组分扩散项

能量方程一节中的方程 1 和 PDF 模型的能量方程一节中的方程 1 包括了由于组分扩散而导致的焓的输运的影响。当使用分离解算器时，在默认情况下，$\frac{\partial}{\partial x_i}\sum_{j'} h_{j'} J_{j'}$ 会包含在能

量方程一节的方程 1 中。如果你不想包括它，你可以在组分模型面板中关闭扩散能量源项的选项。

当使用非绝热 PDF 燃烧模型时，该项并不是显式的出现在能量方程中，因为对于 PDF 模型的能量方程一节中的方程 1 来说，该方程右手边的第一项已经包含了它。

当使用耦合解算器时，该项总是包含在能量方程中。

由于化学反应产生的能量源项

能量方程一节中的方程 1 的能量源项 S_h 包括了由于化学反应而产生的能量源项：

$$S_{h,reaction} = \sum_{j'} \left[\frac{h_{j'}^0}{M_{j'}} + \int_{T_{ref},j'}^{T_{ref}} c_{p,j'} dT \right] R_{j'}$$

其中 h^o_j^'是组分 j^'的生成焓，R_j^'是组分 j^'的体积生成速度。

非绝热 PDF 燃烧模型的能量方程中，焓的定义已经包括了能量的生成（见 PDF 模型的能量方程一节中的方程 5，所以能量的反应源项不包括在 S_h 中。.

由于辐射产生的能量源项

当使用某一辐射模型时，能量方程一节中的方程 1 和 PDF 模型的能量方程一节中的方程 1 的 S_h 也包括了辐射源项。详情参阅辐射模型一节。

相间的能量源项

需要注意的是，能量源项 S_h 还包括连续和离散相之间的热传导。在后面的离散与连续相耦合一节将会详细讨论。

壁面处热传导的边界条件

壁面处热传导边界条件在标准壁面函数一节中讨论。

固体区域的能量方程

FLUENT 所用的固体区域的能量输运方程的形式为：

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho h) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i h) = \frac{\partial}{\partial x_i}\left(k \frac{\partial T}{\partial x_i}\right) + \dot{q}'''$$

其中 r =密度

h = 显焓（integral_T_ref^T c_p dT）

k = 传导系数

T = 温度

q(dot)^''' = 体积热源

方程 1 左手边的第二项体现了由于固体的平移和旋转而导致的能量对流热传导。速度场 u_i 由指定固体区域的运动计算出来（见固体条件一节）。方程 1 右手边的项分别是固体内部

热传导流量和体积热源的热流量。

固体的各向异性热传导

当使用分离解算器时，FLUENT 允许你制定固体材料的各向异性热传导系数。固体的各向异性传导项形式为：

$$\frac{\partial}{\partial x_i}\left(k_{ij}\frac{\partial T}{\partial x_i}\right)$$

其中 k_ij 是热传导系数矩阵。关于固体材料的各向异性热传导系数的制定可以参阅固体的各向异性热传导系数一节。

入口处的扩散

入口处能量的净输入既包括对流部分也包括扩散部分。对流部分由你所指定的入口温度确定。扩散部分依赖于计算出温度场的梯度。因此扩散部分（相应的净入口输运）不是提前指定的。

在某些情况下，你可能希望指定入口处的能量净输运而不是入口温度。如果你使用分离解算器，你可以通过取消入口能量扩散来实现这一目标。在默认的情况下，FLUENT 在入口处会考虑能量的扩散流量。要关闭入口扩散，可以使用文本命令：define/models/energy?。

如果你使用耦合解算器，入口扩散选项无法关闭。

热传导所需的用户输入

当 FLUENT 模型包含了热传导，你需要激活相关的模型，提供热边界条件，并输入控制热传导和/或随温度变化的材料属性。本节将会介绍这些输入。

下面将会介绍热传导问题的设定步骤。（注意：本步骤只包括热传导模型设定的必须步骤，你还要设定其它的模型，边界条件等。）

1. 要激活热传导的计算，请在能量面板中打开激活能量方程选项。菜单：Define/Models ?Energy...。

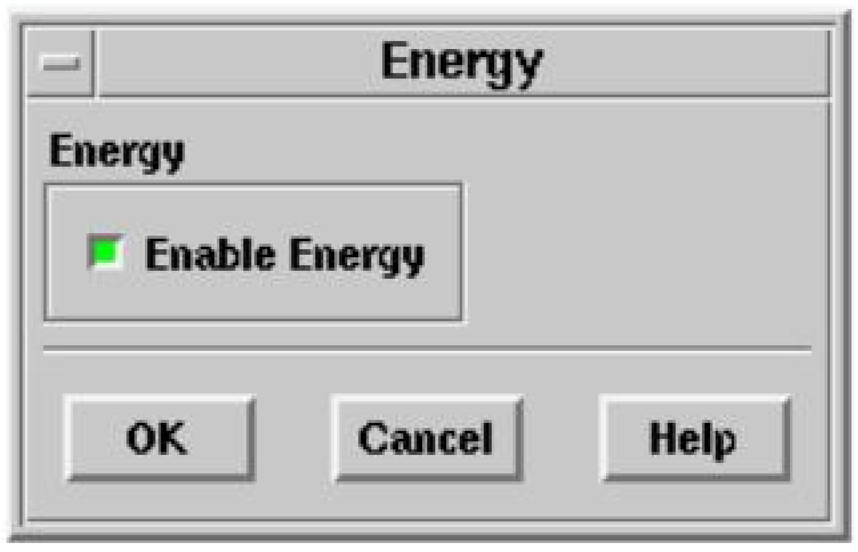


Figure 1: 能量面板

2. (可选，只用于分离解算器)如果你模拟粘性流动，而且希望在能量方程中包括粘性热传导项，请在粘性模型面板中打开粘性热传导项。如包含粘性耗散一节中所述，当使用分离解算器时，FLUENT 在默认的情况下会忽略能量方程中的粘性热传导项（如果使用耦合解散器，则会一直包含粘性热传导项。当流体中的剪切应力较大（如：润滑问题）和/或速度较高、可压流动，就应该激活粘性耗散项（见包含粘性耗散项一节中的方程 1）。菜单 Define/Models/Viscous...

3. 在流动入口、出口和壁面处定义热边界条件。菜单：Define/Boundary Conditions...。

在流动的出入口你需要设定温度，在壁面处你可能需要设定下面的某一热条件：

- 指定热流量
- 指定温度
- 对流热传导
- 外部辐射
- 外部辐射和外部对流热传导的结合

定义壁面处热边界条件一节详细地介绍了控制热边界条件的模型输入。入口处默认的热边界条件为指定的温度 300 K；壁面处默认的条件为零热流量（绝热）。关于边界条件的输入请参阅边界条件一章。

4. 定义适合于热传导的材料属性。菜单：Define/Materials...

如物理属性一节所述，必须定义热容和热传导系数，而且你可以指定很多属性为温度的函数。

温度的上下限

出于稳定性考虑，FLUENT 包括了预测温度范围的限制。设定温度上下限的目的是为了提高计算的稳定性，从物理意义上说，温度应该处于已知极限的范围之内。有时候方程中间解会导致温度超出这些极限，此时就无法很好的定义属性。温度极限保证你的问题的温度在期待的范围之内。如果计算的温度超出最大极限，那么所存储的温度就会固定在最大值处。默认的温度上限是 5000 K。如果计算的温度低于最小极限，那么存储的温度就会固定在最小值处。默认的温度下限是 1 K。

如果你所预期的温度超过 5000 K，你应该使用解限制面板来增加最大温度。菜单：Solve/Controls/Limits...。

热传导的解过程

虽然使用 Fluent 默认的解参数可以成功的解决很多简单的热传导问题，你还是可以使用本节所提供的指导方针来加速收敛速度和解的稳定性。

能量方程的亚松驰

使用分离解算器时，FLUENT 可以使用你在解控制面板所定义的亚松驰参数来处理亚松驰能量方程，具体可以参阅设定松弛因子一节所介绍的内容。菜单：Solve/Controls/Solution...。

如果使用非绝热 PDF 模型，你需要像通常一样设定能量亚松弛因子，但是你也可以设定温度的亚松弛因子，其用法和解焓方程时温度的亚松驰一节所介绍的一样。

FLUENT 不会管所解能量方程是温度还是焓形式，它都会设定默认的亚松弛因子为 1.0。在能量场影响流体流动（通过温度相关属性或者焓）的问题中，你应该是用较小的亚松弛因子，一般在 0.8 到 1.0 之间。当流场和温度场解耦时（没有温度相关属性或者浮力），你可以保留松弛因子的默认值 1.0。

解焓方程时温度的亚松驰

当解焓形式的能量方程时（即当你使用非绝热 PDF 燃烧模型时），FLUENT 也对温度进行亚松驰，也就是说，只是用焓（亚松驰）变化对应的温度变化的某一分数来更新温度场。当你希望焓场变化较快时，二层的亚松驰很有用，只是温度响应比较之后，相应的温度对流场的影响也会滞后。FLUENT 对于温度的亚松驰默认设定为 1.0，此设定使用解控制面板来实现。

屏蔽组分扩散项

如果使用分离解算器来解决组分输运，而且遇到了收敛困难，你应该考虑在组分模型面板中关闭扩散能量源项。菜单：Define/Models/Species...。

当改选项关闭时，FLUENT 会忽略能量方程的组分扩散影响。注意：当使用耦合解算器时组分扩散影响总会被考虑到的。

步进解

最为有效的预测热传导策略是先计算等温流动然后加入能量方程的计算。步骤稍有不同，主要取决于流动和热传导是否耦合。

如果流动和热传导是解耦的（没有温度相关属性或浮力），你可以首先解等温流动（关闭能量方程）来产生收敛的流场解，然后单独解能量输运方程。

注意：因为耦合解算器总是一起解流动和能量方程，所以单独解能量方程只应用于分离解算器。

你可以在解控制面板中的方程列表中取消能量选项来临时关闭流动方程或者能量方程（请参阅步进解一节）。菜单：Solve/Controls/Solution...。

如果流动和热传导是耦合的（也就是模型中包括温度相关属性或浮力），你可以在打开能量方程之前首先解流动方程。一旦你有了收敛的流场解，你就可以打开能量选项然后同时解流动和能量方程完成热传导的模拟。

热传导的报告

FLUENT 为热传导模拟提供了附加的报告选项。你可以生成图形或者报告下面的变量或函数：

- 静温
- 总温
- 焓
- 相对总温
- 壁面温度（内部表面）
- 壁面温度（外部表面）
- 总焓
- 总焓误差
- 熵
- 总能量
- 内能
- 表面热流量
- 表面热传导系数

- 表面努塞尔（Nusselt）数
- 表面斯坦顿（Stanton）数

上面所示的前 11 个变量包含在后处理面板中的变量选择下拉列表的温度类别中，剩下的变量在壁面流量类别中。关于它们的定义可以参阅流场函数定义一节。

在报告和显示中焓与能量的定义

焓与能量报告值的定义是不同的，它取决于流动可压与否。完全的定义请参阅流场变量及其定义的列表。

报告通过边界的热传导

你可以使用流量报告面板来计算通过每一个边界的热传导或者将通过所有边界的热流量加起来来检查热平衡。菜单：Report/Fluxes...。

推荐检查热平衡以确认你的解是收敛的。关于流量报告的生成请参阅通过边界的流量一节。

报告通过表面的热传导

你可以使用曲面积分面板（在曲面积分一节介绍）来计算通过任何边界的热传导或者计算通过曲面的热传导，这个曲面可以在显示和报告曲面数据一节中介绍的方法来创建。菜单：Report/Surface Integrals...。

要报告焓的流速

$$Q = \int \rho H \vec{V} \cdot d\vec{A}$$

在曲面积分面板选择流动速度选项，选择焓（在温度类别中）作为流场变量，然后选择需要积分的一个或多个曲面。

报告平均热传导系数

曲面积分面板还可以报告在曲面上的平均热传导系数 h，菜单：Report/Surface Integrals...。

在曲面积分面板中选择平均选项，选择曲面热传导系数（在壁面流量类别中）作为流场变量然后点击相应的曲面。

周期性流动和热传导

周期流是指流动和热的解具有周期性重复的特点。周期性流动分两种：一种是在周期性平面内没有压降的周期流；第二种是流向周期流。本解讨论流向周期流以及周期性热传导，关于没有压降的周期流请参阅周期性边界条件一节。

引言

FLUENT 提供流向周期流的计算。这种流动具有广泛的应用，如热交换管道以及通过水箱的管流。在这些流动模式中，几何外形沿流动方向上具有重复性的特点，从而导致了周期性完全发展的流动。这些周期性条件在足够的入口长度后就会形成，具体与雷诺数和几何外形有关。

流向周期流会在足够长度 L 之后形成，在流向的每一个重复流动模式之间会有一个一定的压降。下图就是一例。

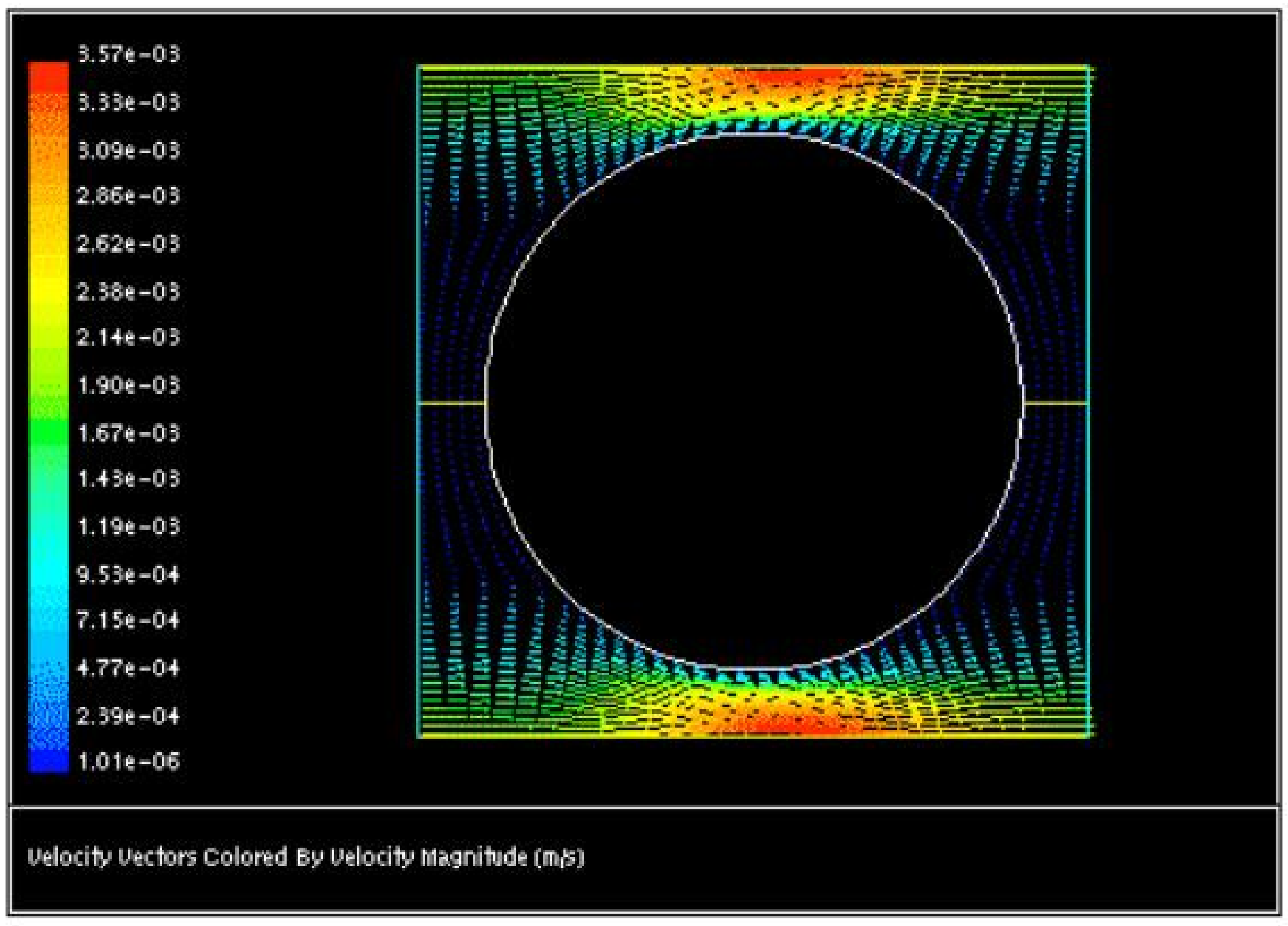


Figure 1: 二维热交换几何外形的周期性流动例子

- 交换的几何外形
- 当壁面是常温或者热流一定时会产生周期性热条件。在这一问题中，温度场是周期性发展的。至于周期性流动，分析这类问题可以将数值模型限制为单一模块或者周期性章度。使用流向周期性流动和热传导的限制 ：
- 流动必须不可压
- 几何外形必须是平移性的周期
- 用耦合解你只能指定压力跳跃，分离解可以指定压力跳跃或者流速。
- 在流动入口和出口没有质量的增加，外部源项或者离散相源
- 只能模拟出入口所包括的组分（没有质量的净增加），不允许有反应流
- 不允许离散相和多项流模型

周期性热传导的特殊限制：

- 必须使用分离解
- 热边界条件必须指定热流或者壁面温度常数。而且在特定的问题上这些边界类型不能结合在一起：对于常温算例，所有壁面温度必须是相同的，在壁面流量中，不同的热流必须区分为不同的壁面。
- 在有固体的区域不可以横跨周期性平面
- 热动力学和流体的输运性质（比热容，热传导系数，粘性系数，密度）不能是温度的函数，因此不可以模拟化学反应流。然而输运性质可能会以周期性的方式变化，这就允许你模拟周期性湍流，在这种周期性湍流流动中，输运性质（有效热传导系数，有效粘性系数）随着湍流流场变化。

周期流模拟程序概述

考虑流向周期性流动和热传导的典型计算分两个部分。第一是不考虑温度场的速度场计算，然后固定速度场来计算温度场。步骤如下：

1. 设定流向周期性边界条件网格
2. 输入热力学常数和输运常数
3. 通过周期性边界条件指定周期性压力梯度以及净质量流速
4. 计算周期性流场，计算动量方程、连续性方程以及湍流方程（可选）
5. 指定壁面热边界条件：温度或热流
6. 定义入口温度
7. 解能量方程预测周期性温度场

指定温度边界条件的周期性热传导

FLUENT 可以解决两类热传导问题：与常数温度壁面具有热交换的流向周期性流动是 FLUENT 可以解决的一种周期性热传导问题。另一种可以解决的是具有指定壁面热流量的流动，具体可以参阅具有指定热流量条件的周期性热传导一节。

注意：只有在使用分离解算器时才可以模拟周期性热传导。

常数壁面温度条件的周期性热传导方程

对于常数壁面温度，当流体通过周期性区域时，其温度接近壁面边界的温度。但是温度可以用具有周期性行为来衡量。对于具有常数壁面温度的周期性流动，对温度较合适的度量为[119]：

$$\theta = \frac{T(\vec{r}) - T_{wall}}{T_{bulk,inlet} - T_{wall}}$$

体积温度 T_bulk,inlet 定义为：

$$T_{bulk,inlet} = \frac{\int_A T\left|\rho d\vec{V} \cdot d\vec{A}\right|}{\int_A \left|\rho d\vec{V} \cdot d\vec{A}\right|}$$

其中积分是对整个入口周期性边界（A）的积分。正是规定的温度 q 服从通过长度为 L 的周期性条件。

常数壁面温度周期性热传导的用户输入

为了模拟周期性热传导，你需要参照使用分离解算器模拟流向周期流动所需用户输入一节所介绍的方法来设定你的周期性模型，同时要注意概述中所提出的限制。除此之外，你需要提供如下与热传导模型相关的信息：

1. 在能量面板中激活能量方程解。菜单：Define/Models/Energy...。
2. 在各自的壁面面板为每一个壁面边界设定边温度 T_wall。注意：所有的壁面边界必须分配相同的温度，而且整个流场（除了周期性边界）必须由固定温度条件或者对称或零热流量边界来封闭不同的壁面边界。菜单：Define/Boundary Conditions...
3. 合适的话，定义固体区域。假如在区域的周边由固定温度条件封闭，你可以在区域内使

用传导性固体区域。当你使用固定温度条件解周期性热传导时，固体区域内不可以有热生成。菜单：Define/Boundary Conditions...

4. 设定常数流体属性（密度，热容，粘性，热传导系数，而不是在使用材料面板的 1 中定义温度相关流体属性）。菜单：Define/Materials...
5. 在周期性面板中指定逆流体积温度。（体积温度不能等于壁面温度，因为它会给出常数温度在任何位置的价值不高的解。）菜单：Define/Periodic Conditions...。

周期性热传导的解策略

完成了周期性热传导常数壁面温度的用户输入之后，你就可以解决流动和热传导问题直至收敛。最为有效的解决方法是首先解没有热传导的周期性流动，然后不改变流场来解热传导问题，具体步骤如下：

1. 在解控制面板中关闭能量方程选项。菜单：Solve/Controls/Solution...。
2. 解剩下的方程（连续性，动量以及湍流参数（可选））来获取收敛的周期性流动的流场解。

注意，当你在开始计算之前初始化流场时，请使用入口体积温度和壁面温度的平均值作为流场的初始温度。

3. 回到解控制面板，关闭流动方程打开能量方程。
4. 解能量方程直至收敛获取周期性温度场。

当同时考虑流动和热传导来解决周期性流动和热传导问题时，你就会发现上面所介绍的方法相当有效。

监视收敛性

为了保证得到收敛解，你可以监测体积温度比的值：

$$\theta = \frac{T_{wall} - T_{bulk,inlet}}{T_{wall} - T_{bulk,exit}}$$

在计算过程中，打开静态监测面板，选择 per/bulk-temp-ratio 作为监测变量。详情请参阅静态监测一节。

固定温度条件的周期性热传导的后处理

在周期性模型中，由 FLUENT 所计算出的温度常将不会是周期性的，而且在后处理中察看温度结果时，FLUENT 会显示常数壁面温度度条件下周期性热传导方程 1 中的真实温度场。所显示的温度可能会超出入口体积温度和壁面温度定义的范围。这种情况是允许的，因为在入口周期性表面处的真实温度轮廓可能会不等于入口体积温度。

在后处理面板中，我们可以在变量选择下拉列表的温度类别中找到静温选项：下图所示为周期性热交换器的温度常。

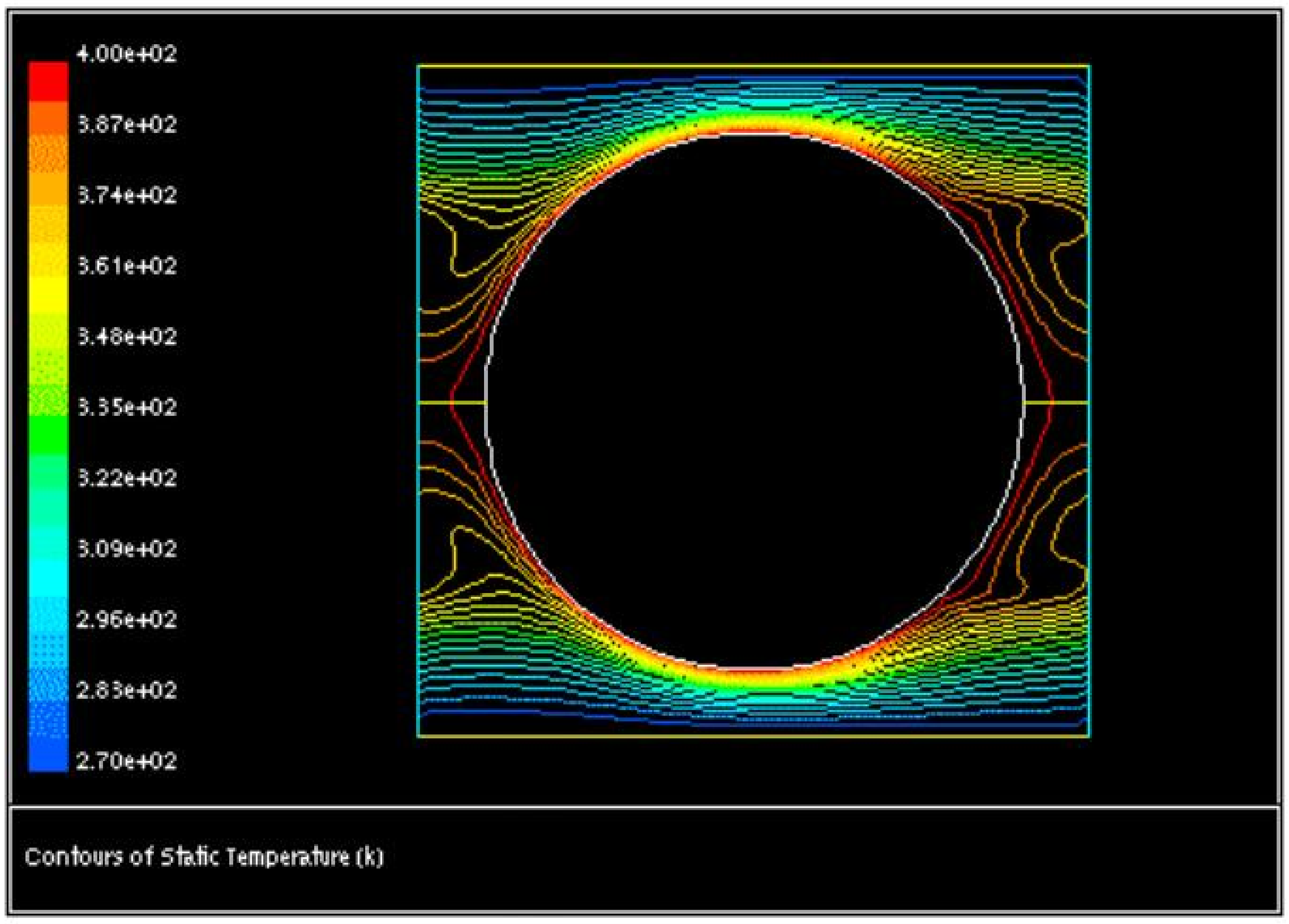


Figure 1: 具有固定温度边界条件的二维热交换器的温度场

指定热流量条件的周期性热传导

当指定热流量条件时，我们可以获得周期性完全发展的温度场。在这种情况下，周期性边界之间的温度交换变成了常数，而且从边界处获取的热量的净增量有关。这个边界是指本节所介绍的边界。

只有在使用分离解算器时才可以模拟周期性热传导。

指定热流量条件的周期性热传导方程

当考虑具有热流量条件的周期性热传导，非按尺度增加的温度场的形式变得和周期性流动的压力场相似

$$\frac{T(\bar{r})-T(\bar{r}+\bar{L})}{L}=\frac{T(\bar{r}+\bar{L})-T(\bar{r}+2\bar{L})}{L}=\sigma.$$

其中 L 是区域内周期性长度矢量。温度梯度 s 与区域内部总的热量增加 Q 的关系为：

$$\sigma=\frac{Q}{\dot{m}c_{p}L}=\frac{T_{bulk,exit}-T_{bulk,inlet}}{L}$$

其中 m(dot)是指定的或者计算的质量流速。

指定热流量周期性热传导的用户输入

为了模拟周期性热传导，你需要遵照使用分离解算器计算流向周期性流动所需用户输入一节中介绍的方法来设定周期性模型，只是要注意一下引言中所讨论的限制条件。除此之外，你需要为热传导模型提供下面的相关输入：

1. 在能量面板中激活能量方程解。菜单：Define/Models/Energy...。
2. 在壁面面板为每一个壁面设定热流量。不同的壁面边界可以定义不同的热流量值，待是

在该区域内部不可以有其它的热边界条件。菜单：Define/Boundary Conditions...

3. 合适的话，定义固体区域。你可以在区域内任何位置定义传导性固体区域，需要的话还可以包括固体内部体积热的增加。菜单：Define/Boundary Conditions...
4. 设定常数流体属性（密度，热容，粘性，热传导系数，而不是在使用材料面板的 1 中定义温度相关流体属性）。菜单：Define/Materials...
5. 在周期性面板中指定逆流体积温度。菜单：Define/Periodic Conditions...。

解决周期性热传导问题

完成上面的输入之后，你就可以解决流动和热传导问题直至收敛。然而最为有效的解决方法应该遵循：首先解没有热传导的周期性流动，然后不改变流场来解热传导。这一步骤的具体介绍可以参阅周期性热传导的解策略一节。

指定流量条件的周期性热传导的后处理

具有指定热流量的周期性流动的后处理和指定温度条件的周期性流动的后处理相同。具体可以参阅固定温度的周期性热传导的后处理一节。

第 11 章 传热模型

11.1 导热与对流换热

FLUENT 允许用户在其模型中包含有流体与 / 和固体的传热求解。从流体热混合到固体的热传导可以在 FLUENT 中应用这一节所介绍的模型和用户输入项进行耦合求解。11.3 节介绍辐射传热模型、11.5 节介绍自然对流。

- 11.2.1 Theory
- 11.2.2 User Inputs for Heat Transfer
- 11.2.3 Solution Process for Heat Transfer
- 11.2.4 Reporting and Displaying Heat Transfer Quantities
- 11.2.5 Exporting Heat Flux Data

11.2.1 理论

能量方程

FLUENT 求解如下的能量方程：

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho E)+\nabla\bullet\left(\vec{v}(\rho E+p)\right)=\nabla\bullet\left(k_{eff}\nabla T-\sum h_j\vec{J}_j+\left(\bar{\bar{\tau}}_{eff}\bullet\vec{v}\right)\right)+S_h \qquad (11.2.1)$$

其中，k_{eff} 为有效导热率（$k+k_{eff}$，其中，k_f 为湍流引致的导热率，由模型中使用的湍流模型确定)。$\vec{J}_j$ 为组分 j 的扩散通量。方程 11.2-1 右边的前三项分别表示由于热传导、组分

扩散、粘性耗散而引起的能量转移。S_h 包含化学反应放（吸）热以及任何其它的由用户定义的体积热源。

方程 11.2-1 中：

$$E = h - \frac{p}{\rho} + \frac{v^2}{2} \qquad (11.2.2)$$

其中，显焓 h 的定义（对理想气体）为：

$$h = \sum_j Y_j h_j \qquad (11.2.3)$$

对不可压流体：

$$h = \sum_j Y_j h_j + \frac{p}{\rho} \qquad (11.2.4)$$

方程 11.2-3、11.2-4 中，Y_j 为组分 j 的质量分数：

$$h_j = \int_{T_{ref}}^{T} c_{p,j} dT$$

其中 T_{ref} 为 298.15K。

非预混燃烧模型的能量方程：

当激活非绝热、非预混燃烧模型时，FLUENT 求解以总焓表示的能量方程：

$$\frac{\partial}{\partial}\left(\rho H\right) + \nabla \cdot \left(\rho \vec{v} H\right) = \nabla \cdot \left(\frac{k_t}{c_p} \nabla H\right) + S_h \qquad (11.2.6)$$

上式假定刘易斯数（Le）＝1，方程右边的第一项包含热传导与组分扩散，粘性耗散作为非守恒形式被包含在第二项中。总焓的定义为：

$$H = \sum_j Y_j H_j$$

其中，Y_j 为组分 j 的质量分数：

$$H_j = \int_{T_{ref,j}}^{T} c_{p,j} dT + h_j^0\left(T_{ref,j}\right) \qquad (11.2.8)$$

$h_j^0\left(T_{ref,j}\right)$ 为组分 j 处于参考温度 $T_{ref,j}$ 的生成焓。

考虑压力做功以及动能

方程 11.2-1 包含有在不可压流动中经常被忽略的压力做功和动能。因此，在缺省情况下，分离式求解器在计算不可压流体时，不考虑压力做功和动能的影响。如果用户希望考虑这两个因素，可以使用 define/models/energy?命令行激活这两个影响因素。在处理可压缩流动或使用任何耦合式求解器时，总是考虑压力做功和动能。

考虑粘性耗散

方程 11.2-1 和 11.2-6 包含有粘性耗散项，它表示了由于流动过程中粘性剪切作用而产生的热量。

在使用分离式求解器时，FLUENT 的缺省能量方程不包含这一项（因为一般灰忽略粘性产

生的热量）。当 Brinkman 数，Br，接近或大于 1 时，流体粘性生成的热量不可忽视：

$$Br = \frac{\mu U_e^2}{k\Delta T} \qquad (11.2.9)$$

其中，ΔT 为计算区域内的温差。

当用户的问题需要考虑粘性耗散项，并且使用的是分离式求解器时，用户应该在 **Viscous Model** panel 面板中使用 **Viscous Heating** 选项激活此项。对于一般的可压缩流动，$Br \geq 1$。需要注意的是，如果用户已经定义了可压缩流动，但使用了分离式求解器，FLUENT 不会自动激活粘性耗散选项。

对于任一种耦合式求解器，在求解能量方程时，粘性耗散项总是被考虑进去。

考虑组分扩散项：

由于组分扩散的作用，方程 11.2-1、11.2-6 均包含有焓的输运。

当使用分离式求解器时，此项：

$$\nabla \cdot \left(\sum_j h_j \vec{J}_j \right)$$

在缺省情况下被包含在方程 11.2-1 中。若用户希望禁止此项，可以使用 **Species Model** panel. 面板中的 **Diffusion Energy Source** 选项来屏蔽。

在使用非绝热、非预混燃烧模型时，因为方程 11.2-6 中的第一项中已经包含了这一项，所以它不会显式的包含在方程中。

使用耦合式求解器时，这一项总是被包含在能量方程中。

化学反应引起的传热源项

方程 11.2-1 中的能量源项包含化学反应带来的热量；

$$S_{h,rxn} = -j\sum_j \left(\frac{h_j^0}{M_j} + \int_{T_{ref,j}}^{T} c_{p,j} dT \right) \Re_j \qquad (11.2.10)$$

其中，h_j^0 为组分 j 的生成焓，$\Re_j$ 为组分 j 的体积释热率。

对于非绝热、非预混燃烧模型的能量方程（方程 11.2-6），由于组分生成热已经被包含在焓的定义之中（请参阅方程 11.2-6），所以，能量的反应源项不包含在源项 S_h 之中。

辐射引起的能量源项

一旦使用了某种辐射模型，方程 11.2-1、11.2-6 中的源项 S_h 也包含有辐射源项。细节请参阅 11.3 节。

相间能量交换源项

需要指出的是，能量源项 S_h 中也包含连续相与离散相之间的热量交换。进一步的讨论请参阅 19.5 节。

壁面传热边界条件

壁面传热边界条件在 10.8.2 节介绍。

固体计算域的能量方程

在固体区域，FLUENT 使用的能量方程形式如下：

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho h)+\nabla\bullet(\vec{v}\rho h)=\nabla\bullet(k\nabla T)+S_h \qquad (11.2.11)$$

其中：

$\rho=$ 密度

$h=$ 显焓，$\int_{T_{ref}}^{T} c_p dT$

$k=$ 导热率

$T=$ 温度

$S_h=$ 体积热源

方程 11.2-11 左边第二项表示固体由于旋转或平移而引起的对流传热。速度 $\vec{v}$ 由用户对固体区域的运动属性的设定而计算得到（请参阅 6.18 节）。方程 11.2-11 右边两项分别表示传导引起的热流以及固体内部的体积热源。

固体内各向异性热传导

当使用分离式求解器时，FLUET 允许用户对固体介质设定各向异性的导热率。对于各向异性导热的 ，其热传导项为：

$$\nabla\bullet(k_{ij}\nabla T) \qquad (11.2.12)$$

其中，为 k_{ij} 导热率张量。关于如何对固体设定各向异性导热率，请参阅 7.4.5 节。

入口区的扩散

在入口区的总能量输运既包括对流传热，也包括扩散传热。对流传热由用户设定的入口温度所确定。但是，扩散传热却依赖于计算域中的温度梯度。这样，我们不能预先设定扩散传热量，从而就不能确定入口的总传热量。

在某些场合，用户可能希望给定入口的中传热量而不是入口温度。如果使用分离式求解器，用户可以禁止掉入口的能量扩散来达到此目的。缺省情况下，在入口区，FLUENT 包含有扩散传热。为了禁止入口的扩散传热，可使用 define/models/energy?命令行。

如果使用耦合式求解器，那么，入口区的扩散传热不能禁止掉。

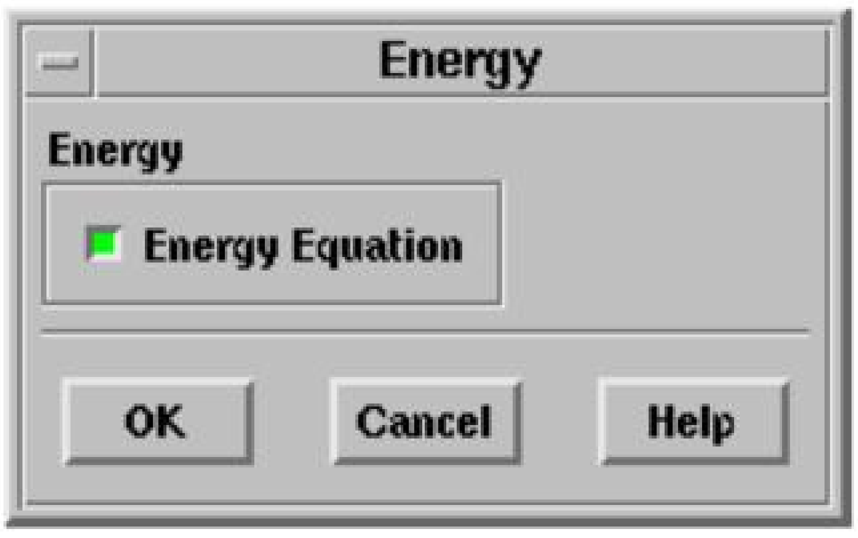
11.2.2 有关传热的用户输入项

在 FLUENT 中使用的模型考虑传热时，用户需要激活相应的模型、提供热边界条件、给出控制传热和 / 或依赖于温度而变化的各种介质参数。这一节介绍这些输入项。

设定传热问题的步骤如下所述（需要注意的是，这里介绍的只包括针对传热而必须的设定步骤，用户还需要设定其它的模型参数、边界条件等）。

1. 为了激活传热计算，请在 Energy panel 面板（图 11.2.1）中激活 **Energy Equation** 选项。

Define → Models → Energy...



图表 11.2.1 Energy 面板

2. 如果模拟的是粘性流动，并且希望在能量方程中包含粘性生成热，请在 Viscous Model panel.面板中激活 **Viscous Heating** 选项（可选的，且仅适用于离散求解器，）。正如 11.2.1 节所介绍的，在使用离散求解器时，缺省情况下，FLUENT 在能量方程中忽略了粘性生成热（各个耦合求解器总是包含有粘性生成热）。对于流体剪切应力较大（例如流体润滑问题），和 / 或高速可压缩流动（请参阅方程 11.2-9），用户应该考虑粘性耗散。

   Define →Models →Viscous...

3. 在流动入口、出口以及壁面定义热边界条件

   Define →Boundary Conditions...

   在入口、出口边界用户应设定温度条件；在壁面，用户可以设定如下的热边界条件：

   - 设定热流
   - 设定温度
   - 对流传热条件
   - 辐射条件
   - 辐射与对流的混合边界

6.13.1 节详细介绍了决定上述热边界条件所需要的模型输入参数。入口的缺省热边界条件为温度＝300K；壁面的缺省热边界条件为热流＝0（即壁面绝热）。关于边界条件输入参数的细节请参阅第六章。

!! 若用户的传热计算涉及到两个彼此分离的流动区域，请看下面的介绍。

4. 定义介质的热参数

   Define →Materials...

   必须定义介质的比热和导热率，并且用户可以把很多参数设定为温度的函数（请参阅第七章）。

!! 若用户的传热计算涉及到两个彼此分离的流动区域，请看下面的介绍。

温度的高限与低限值

出于计算稳定性的考虑，FLUENT 对温度的计算范围加以限制。设定温度的高低限是为了提高计算的稳定性，因为物理上真实的温度应该处于某个确定的温度范围之内。有时，在方程求解刚开始时，温度可能会超出温度限制，而异常温度所对应的各种参数将是不真实的。温度的高 / 低限值确保了计算出的温度处在用户所期望的可能的温度范围之内。如果 FLUENT 在计算过程中得到的温度超出了温度高限，那么，计算温度值就被固定在温度高限上。缺省的温度高限值是 5000K。若 FLUENT 在计算过程中得到的温度低于温度低限，那么，计算温度值就被固定在温度低限上。缺省的温度低限值为 1K。

若用户计算域内的温度可能超过 5000K，那么，可以使用 **Solution Limits** panel 面板的

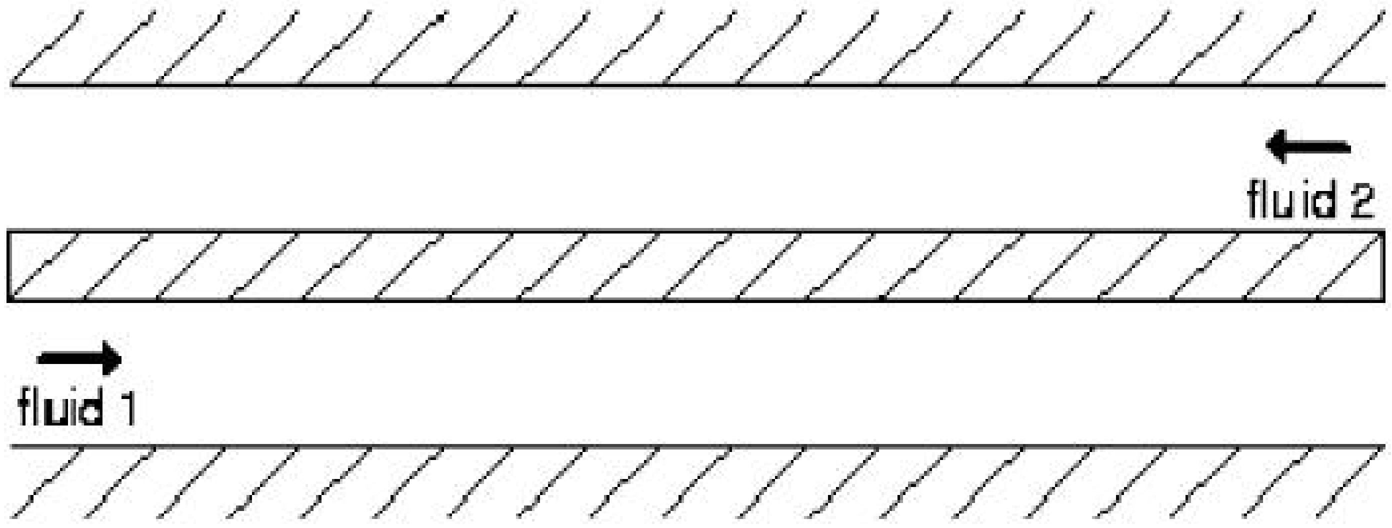
Maximum Temperature.选项来提高温度高限值。

Solve →Controls →Limits...

模拟分离的两个区域内的传热

如果用户的传热计算域涉及到由固体区域或某个壁面分开的两个流动区域（如图 11.2.2 所示），那么，就需要仔细的设定此计算模型：

- 在任一个流动区域都不能使用 outflow 边界条件
- 通过对每个计算域设定不同的流体介质，用户可以创建单独的流体介质属性（但是，对于需要组分计算的情况，用户只能对整个计算域设定一个单一的混合介质）。



图表 2 涉及到两个彼此分离流动的典型逆流换热

11.2.3 传热计算的求解过程

尽管使用 FLUENT 中预先设定的缺省求解参数可以很好的求解简单传热问题，用户可以使用本节介绍的方法来加速计算的收敛或者 / 和提高求解过程的稳定性。

能量方程的亚松弛

当用户使用分离式求解器时，FLUENT 使用亚松弛参数（系数，在 **Solution Controls** panel 面板中由用户定义，请参阅 22.9 节）来对能量方程进行亚松弛处理。

Solve →Controls →Solution...

如果使用非绝热、非预混燃烧模型，用户可以设定能量方程的亚松弛系数，也可以对温度进行亚松弛处理，如下所述。

无论能量方程采用那种形式（温度或焓），FLUENT 使用的缺省亚松弛系数都是 1.0。在能量场影响到流场的情况下（通过依赖于温度的变量的改变或者浮力的影响），用户应该使用较小的亚松弛系数（一般为 0.8～1.0）。对于流场不受温度场影响的情况（没有依赖于温度的变量或者浮力的影响），用户可以保持缺省的亚松弛系数值为 1.0。

求解焓方程时的温度亚松弛

在能量方程以焓的形式表示时（例如，当用户使用非绝热、非预混燃烧模型），FLUENT 对温度急性亚松弛处理，即每次对温度变化只进行部分更新从而对焓值就进行了亚松弛处理。这种间接方式亚松弛使用户可以令焓值迅速改变，而温度（会影响到流体的属性）相对要滞后。FLUENT 中温度亚松弛系数的缺省值为 1.0。用户可以在 **Solution Controls** panel.面板中进行更改。

禁止组分扩散项

如果使用分离式求解器时收敛困难，那么，用户可以考虑在 **Species Model** panel.面板中禁止 **Diffusion Energy Source** 选项。

Define →Models →Species...

当此选项被禁止时，FLUENT 将忽略能量方程中的组分扩散的影响。

需要注意的是，对于任何耦合求解器，总是包含有组分扩散的影响。

逐步求解

对于传热计算，更有效的计算策略是先计算绝热流动，然后再考虑能量方程的计算。依据流

动与传热是否耦合，求解过程稍有不同。

非耦合的流动-传热计算

若用户的问题是非耦合的流动-传热过程（没有依赖于温度的介质属性或浮力），那么，用户可以先求解绝热流动（屏蔽掉能量方程）以得到收敛的流场，然后再单独求解能量输运方程。

!! 由于耦合求解器同时求解流动与能量方程，所以，上述的能量方程单独求解过程仅对分离式求解器有效。

用户在 **Solution Controls** panel（请参阅 22.19.2 节）面板中的 **Equations** 列表中不选择 **Energy** 选项，就可以临时性的屏蔽掉能量方程的求解。

Solve →Controls →Solution...

流动与传热的耦合计算

对于流动与传热耦合问题（例如，模型中包含有依赖于温度的介质属性或浮力），在计算能量方程之前，用户可以首先求解流动方程。获得收敛的流场计算结果之后，用户可以再选择能量方程，然后同时求解流动与传热方程，最终获得问题的完整解。

11.2.4 传热变量的输出与显示

对于传热过程，FLUENT 提供另外的几种输出（汇报）选项。用户可以生成如下的图形或输出变量 / 函数：

- 温度
- 总温（滞止温度）
- 焓
- 相对滞止温度
- **Rothalpy**
- 壁面温度（外表面）
- 壁面温度（内表面）
- 滞止焓
- 滞止焓梯度
- 熵
- 总能
- 内能
- 表面总热流密度
- 表面传热系数
- 表面努塞尔数
- 表面斯坦顿数

上述的前 12 个变量列于后处理面板中的 **Temperature...**目录下的下拉列表中，其余的变量列于 **Wall Fluxes...**目录之下。关于这些变量的定义请参阅第 27 章。

输出与显示总的焓与能量的定义

依据流体是否可压缩，焓与能量的输出值的定义有所不同。关于完整的变量定义请参阅 27.4 节。

穿过边界的热流量（热通量）的输出

用户可以使用面板来计算求解域中每个边界的传热量，或者是对所有边界的传热量求和以检查热量的平衡。

Report →Fluxes...

我们推荐用户进行热平衡的检查以确保计算结果达到真实收敛状态。关于生成热流量的输出项目请参阅 26.2 节。

穿过表面的热流通量的输出

用户可以使用 **Surface Integrals** panel 面板（请参阅 26.5 节）来计算穿过任一边界或表面（使用第 24 章所介绍的方法创建而成）的热流通量。

Report →Surface Integrals...

为了要输出焓的流率（通量）：

$$Q = \int H \rho \vec{v} \bullet d\vec{A} \qquad (11.2.13)$$

在 **Surface Integrals** 面板中选定 **Mass Flow Rate** 选项，然后在 **Field Variable** 区选定 **Enthalpy**（在 **Temperature...**目录列表下），然后点取希望进行积分的表面。

平均传热系数的输出

Surface Integrals panel 面板可以用来输出某个面的平均传热系数 h 。

Report →Surface Integrals...

在 **Surface Integrals** 面板中，选定 **Area-Weighted Average** 选项，然后在 **Field Variable** 区选定 **Surface Heat Transfer Coef.**（在 **Temperature...**目录列表下），点取某个表面即可。

11.2.5 热流数据的输出

用户可以把壁面区域（包括辐射体）的热流数据输出到文件中，然后就可以进行计算数据的检查或在在其它程序中使用。为了存贮热流数据文件，用户可以使用 custom-heat-flux 命令行。

file →export →custom-heat-flux

用户选定的区域（面区域，face zone）热流数据文件的输出格式为：

```
zone-name nfaces
x_f  y_f  z_f  A  Q  T_w  T_c
.
.
```

每个数据区以区域名称（zone-name）开始，然后是在此区域包含的面的总数（nfaces）。接下来是每一个面的相关数据（共有 nfaces 行），每行数据包含面的几何中心坐标（x_f, y_f, and, 三维时还包含, z_f）、面的面积（A)）、包扩辐射传热的总热流量（Q）、面的温度（T_w）以及相邻单元的温度（T_c）。

第 22 章 fluent 解算器的使用

求解器使用概述

当你确定了模型和求解器（参阅使用求解器形式一节），你就可以运行求解器了。下面是你可以参阅的一般步骤：

1. 选择离散格式，如果使用分离求解器，你还可以选择压力插值格式（见选择离散格式一节）。
2. （只用于分离求解器）选择压力速度耦合方法（参阅选择压力速度耦和方法一节）。
3. 设定亚松驰因子（见设定亚松驰因子一节）。
4. （只用于耦合显式求解器）打开 FAS 多重网格（见打开 FAS 网格一节）。
5. 对求解器设定作任何附加的修改，具体的修改可以参阅介绍你所使用的模型的相关章节。

6. 初始化解（参阅初始化解一节）
7. 激活适当的解监视器（参阅监视解的收敛一节）。
8. 开始计算（参阅执行计算一节）。
9. 如果出现收敛性问题，请尝试收敛性和稳定性一节中所讨论的方法。

前三项的默认设定可以满足大多数问题而不必修改。下面将要介绍这三个以及其它解参数可以做什么样的修改，以及什么时候你希望做出修改。上面所列出的步骤应用于所有定常状态的计算。具体可以参阅非定常解程序的时间相关模拟。

选择离散格式

FLUENT 允许你选择每一个控制方程的对流项的离散格式（对于粘性项自动使用二阶精度）当使用分离求解器时，在默认的情况下，所有的方程都是使用一阶迎风离散来解对流问题。当使用耦合求解器时，在默认的情况下，流动方程是二阶格式解出的，其它方程是用一阶格式解出的。关于 FLUENT 中离散格式的完全介绍请见离散一节。

22.17 解的动画显示

在计算过程中，你可以用 FLUENT 做等值线、矢量、XY 图、监视图（残差、统计、力、曲面或者体积）或者网格（主要对于动网格模拟有用）的动画。在开始计算之前，你需要指定要做动画的显示变量和绘图类型，并指定绘图保存的频率。在指定的间隔中，**FLUENT** 会显示被请求的绘图并存储每一个。完成计算之后，你可以回放动画序列，修改视角（对于网格、等值线和矢量的图），需要的话，可以可以将动画保存为一序列的硬拷贝文件或者 MPEG 文件。